



TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISIS OPERABILITAS *COMMON SPARE*
CALM BUOY STUDI KASUS PT.PERTAMINA
(PERSERO) PADA LOKASI OPERASI
TERMINAL TRANSFER UTAMA TUBAN**

NONI NABILA ULFAH

NRP. 4312 100 122

Dosen Pembimbing :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D., F.RINA

Murdjito, M.Sc.Eng

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2016



FINAL PROJECT - MO141326

**OPERABILITY ANALYSIS OF COMMON SPARE
SPM CALM BUOY STUDY CASE
PT.PERTAMINA (PERSERO) AT OPERATING
LOCATION TUBAN MAIN TRANSFER
TERMINAL**

NONI NABILA ULFAH

NRP. 4312 100 122

Supervisors :

Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D., F.RINA

Murdjito, M.Sc. Eng

OCEAN ENGINEERING DEPARTMENT

Faculty of Marine Technology

Sepuluh Nopember Institute of Technology

Surabaya 2016

**ANALISIS OPERABILITAS COMMON SPARE CALM BUOY STUDI KASUS
PT. PERTAMINA (PERSERO) PADA LOKASI OPERASI TERMINAL
TRANSFER UTAMA TUBAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

oleh :

NONI NABILA ULFAH NRP. 4312 100 122

Disetujui oleh :

1. Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc., Ph.D., F.RINA (Pembimbing 1)

2. Murdjito, M.Sc. Eng (Pembimbing 2)

3. Dr. Eng Rudi Walujo Prastianto, S.T., M.T. (Penguji 1)

4. Ir. Joswan Joesoef Soedjono, M.Sc (Penguji 2)

5. Agro Wisudawan, S.T., M.T. (Penguji 3)

6. Sujantoko, S.T., M.T. (Penguji 4)

SURABAYA, JULI 2016

**ANALISIS OPERABILITAS *COMMON SPARE CALM BUOY* STUDI
KASUS PT.PERTAMINA (PERSERO) PADA LOKASI OPERASI
TERMINAL TRANSFER UTAMA TUBAN**

Nama : Noni Nabila Ulfah
NRP : 4312 100 122
Jurusan : Teknik Kelautan FTK – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc.,Ph.D., F.RINA
Murdjito, M.Sc.Eng

Abstrak

Dalam operasi *offshore*, penggunaan *single point mooring* sebagai sistem tambat merupakan salah satu pilihan populer, *CALM Buoy* merupakan SPM yang paling banyak dipakai di Indonesia terutama oleh PT Pertamina (persero). Seperti struktur lainnya, *buoy* membutuhkan perawatan berkala dan pada saat tertentu perawatan harus dilakukan di darat sehingga mengharuskan *owner* untuk menyewa *buoy* lain. Strategi ini membutuhkan biaya yang cukup besar dan karenanya PT Pertamina (persero) melakukan studi penggunaan *buoy* SPM IMODCO sebagai *common spare* yang digunakan saat *buoy* menjalani perawatan di dok. Hanya *buoy* dari *common spare* yang akan dipindahkan antar lokasi sementara tali tambat menggunakan yang tersedia di lokasi. *Buoy common spare* memiliki empat *mooring line*, sementara pada beberapa lokasi terdapat enam *mooring line*. Perbedaan ini akan mempengaruhi respon gerak dan nilai operabilitas. Dengan mempertimbangkan respon gerak, *tension mooring line*, data sebaran gelombang serta kriteria batas operasi, akan didapatkan nilai operabilitas dari *common spare* SPM *CALM Buoy*. Analisis dinamis berbasis ranah waktu dilakukan untuk kedua SPM di TTU Tuban masing-masing berkapasitas tambat 150.000 DWT dan 35.000 DWT. Analisis dilakukan dengan variasi ukuran kapal, muatan dan posisi kapal *inline* serta *between line*. Kemudian diambil kasus dengan respon terburuk yang akan dijadikan acuan analisis operabilitas. Analisis operabilitas dilakukan pada tiga variasi *Hs* yaitu 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m. Kriteria yang ditinjau adalah *tension mooring line* serta moda gerak *heave*, *roll*, *pitch* pada *buoy*. Pada semua kasus, nilai *tension* telah memenuhi kriteria *SF API RP 2SK* untuk kondisi *intact* dinamis sebesar 1.67. Sementara untuk dinyatakan *operable*, *buoy* tidak diperbolehkan tercelup ke dalam air dengan intensitas kejadian melebihi 20%. Pada tanker 150.000 DWT dan 100.000 DWT presentase tercelup pada *Hs* 2.5 m secara berturut-turut adalah 30.35% dan 33.25% sehingga dinyatakan tidak dapat beroperasi pada *Hs* tersebut. Pada tanker 35.000 DWT dan 17.500 DWT presentase tercelup pada *Hs* 3.5 m secara berturut-turut adalah 66.17% dan 76.91% sehingga dinyatakan tidak dapat beroperasi pada *Hs* tersebut. Berdasarkan analisis yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa nilai operabilitas untuk tanker 150.000 DWT dan 100.000 DWT adalah 99.893% sementara untuk tanker 35.000 dan 17.500 adalah 99.996%.

Kata kunci: *common spare SPM, operabilitas, respon gerak bangunan apung, SPM CALM Buoy,*

**OPERABILITY ANALYSIS OF COMMON SPARE SPM CALM BUOY
STUDY CASE PT.PERTAMINA (PERSERO) AT OPERATING
LOCATION TUBAN MAIN TRANSFER TERMINAL**

Name : Noni Nabila Ulfah
Reg, Number : 4312 100 122
Department : Ocean Engineering FTK – ITS
Supervisors : Prof. Ir. Eko Budi Djatmiko, M.Sc.,Ph.D., F.RINA
Murdjito, M.Sc.Eng

Abstract

CALM buoy is one of SPM commonly used in Indonesia, especially by PT Pertamina (Persero). Like any other offshore structure, CALM buoy requires a periodical maintenance. Sometimes the maintenance need to be carried out onshore, thus it requires the owner to charter another buoy for replacement. In this respect the owner should allocate certain amount of budget, which to some degree is relatively costly. PT Pertamina (Persero) has therefore initiated to conduct a study on utilizing an old SPM IMODCO's buoy as a common spare, to replace the buoy at any site when it is put under maintenance in onshore yard. Only the common spare buoy will be moved to the site, without the the accompanying mooring system. The problem arises because the common spare is configured with 4 mooring lock points, whereas in most sites they used 6 or 8 mooring lock points. These differences will certainly affect the motion responses and the operability rates of the common spare buoy. Analyses are then performed to acquire information on motion responses and mooring line tensions. Combining these with the wave scatter diagram and operation limit, the operability rate of the common spare SPM CALM buoy could be predicted. Time domain dynamic analysis was conducted for SPM operating in TTU Tuban, combined with 35,000 DWT tanker, as the lowest operational capacity, and 150,000 DWT, as the maximum operational capacity. The analysis was conducted by varying of tanker capacity, loading condition and tanker position, ie. inline and between lines. Then the worst case was selected for further evaluation in the operability analysis, conducted in three significant wave height variations, namely 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m. Operability criteria so considered are mooring line tension, and buoy's heave, roll and pitch motions. All of the cases were found to satisfy API RP 2SK requirements of safety factor for tension in intact dynamic simulation of 1.67. Further, to be declared as operable, the buoy is not allowed to be fully or partially submerged with intensity more than 20% of the total cycles. For the 150,000 DWT and 100,000 DWT tankers the percentage of submerging on H_s 2.5 m are 30.35% and 33.25%, respectively, thus both condition are classified as not operable on the corresponding H_s . For 35,000 DWT and 17,500 DWT tankers the percentage of submerging on H_s 3.5 m are 66.17% and 76.91% thus both condition are classified as not operable the corresponding H_s . Based on those analyses, it can be concluded that the operability rate for 150,000 DWT and 100,000 DWT tankers are 99.893%, whilst the 35,000 DWT and 17,500 DWT tankers has a 99.996% operability rate.

Keywords: *common spare SPM, operability, motion respond of floating structure, SPM CALM Buoy*

DAFTAR ISI

| | |
|---|-------------|
| Halaman Judul | i |
| Cover | ii |
| Lembar Pengesahan | iii |
| Abstrak..... | iv |
| Abstract | v |
| Kata Pengantar | vi |
| Ucapan Terima Kasih | vii |
| Daftar Isi | viii |
| Daftar Gambar | xi |
| Daftar Tabel | xvii |
| Daftar Lampiran | xxi |
| Bab I. Pendahuluan | 1 |
| 1.1. Latar Belakang Masalah | 1 |
| 1.2. Perumusan Masalah | 5 |
| 1.3. Tujuan | 5 |
| 1.4. Manfaat | 5 |
| 1.5. Batasan Masalah | 6 |
| 1.6. Sistematika Penulisan | 7 |
| Bab II. Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori | 9 |
| 2.1. Tinjauan Pustaka | 9 |
| 2.2. Dasar Teori | 11 |
| 2.2.1. Aspek Umum Sistem <i>Mooring</i> | 11 |
| 2.2.1.1. <i>Single Point Mooring</i> | 11 |
| 2.2.1.2. Penentuan Panjang <i>Mooring Line</i> | 13 |
| 2.2.1.3. Tension pada <i>Mooring Line</i> | 15 |
| 2.2.1.4. Analisis pada <i>Mooring Line</i> | 16 |
| 2.2.2. Struktur Bangunan Apung pada Gelombang Reguler | 18 |
| 2.2.2.1. Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung | 18 |
| 2.2.2.2. Gelombang Reguler | 19 |
| 2.2.2.3. <i>Response Amplitude Operator</i> | 20 |
| 2.2.3. Struktur Bangunan Apung pada Gelombang Acak | 21 |

| | |
|--|-----------|
| 2.2.3.1. Teori Spektrum Gelombang | 21 |
| 2.2.3.2. Respon Struktur pada Gelombang Acak | 23 |
| 2.2.4. Faktor-Faktor Non Linear | 24 |
| 2.2.4.1. Beban Gelombang Orde Dua | 24 |
| 2.2.4.2. Beban Angin | 25 |
| 2.2.4.3. Beban Arus | 25 |
| 2.2.5. <i>Seakeeping</i> dan Operabilitas Bangunan Apung | 26 |
| 2.2.5.1. <i>Seakeeping</i> | 26 |
| 2.2.5.2. Operabilitas | 28 |
| BAB III. Metodologi Penelitian | 29 |
| 3.1. Metode Penelitian | 29 |
| 3.2. Pengumpulan Data | 32 |
| 3.2.1. Data SPM CALM <i>Buoy</i> IMODCO 100.000 DWT | 32 |
| 3.2.2. Data SPM CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban 150.000 DWT | 33 |
| 3.2.3. Data SPM CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban 35.000 DWT | 35 |
| 3.2.4. Data Kapal Tanker | 37 |
| 3.2.5. Data Lokasi dan Lingkungan TTU Tuban | 39 |
| 3.2.6. Data Kondisi Operasi SPM TTU Tuban | 42 |
| BAB IV. Analisis Hasil dan Pembahasan | 43 |
| 4.1. Skenario Kerja | 43 |
| 4.2. Pemodelan Struktur | 44 |
| 4.2.1. Pemodelan <i>Buoy</i> | 44 |
| 4.2.2. Pemodelan Tanker 17.500 DWT | 46 |
| 4.2.3. Pemodelan Tanker 35.000 DWT | 49 |
| 4.2.4. Pemodelan Tanker 100.000 DWT | 52 |
| 4.2.5. Pemodelan Tanker 150.000 DWT | 55 |
| 4.3. Analisis Gerakan Struktur Kondisi Terapung Bebas | 58 |
| 4.3.1. <i>Buoy</i> | 58 |
| 4.3.2. Tanker 17.500 DWT | 61 |
| 4.3.3. Tanker 35.000 DWT | 67 |
| 4.3.4. Tanker 100.000 DWT | 73 |
| 4.3.5. Tanker 150.000 DWT | 79 |

| | |
|---|-----|
| 4.4. Analisis <i>Buoy</i> Kondisi Tertambat – <i>Stand Alone</i> | 85 |
| 4.4.1. Lokasi A – SPM #150 | 85 |
| 4.4.2. Lokasi B – SPM #035 | 86 |
| 4.5. Analisis <i>Buoy</i> Kondisi Tertambat Tanker | 87 |
| 4.5.1. Lokasi A – SPM #150 | 88 |
| 4.5.2. Lokasi B – SPM #035 | 89 |
| 4.6. Analisis Operabilitas Berdasarkan <i>Tension</i> dan Gerakan <i>Buoy</i> | 90 |
| 4.6.1. Lokasi A – SPM #150 | 91 |
| 4.6.1.1. Tanker Kapasitas 100.000 DWT | 91 |
| 4.6.1.2. Tanker Kapasitas 150.000 DWT | 95 |
| 4.6.2. Lokasi B – SPM #035..... | 98 |
| 4.6.2.1. Tanker Kapasitas 17.500 DWT | 98 |
| 4.6.2.2. Tanker Kapasitas 35.000 DWT | 101 |
| 4.7. Analisis <i>Downtime</i> dan Operabilitas | 105 |
| BAB VI. Penutup | 111 |
| 5.1. Kesimpulan | 111 |
| 5.2. Saran | 113 |
| Daftar Pustaka | 115 |

DAFTAR GAMBAR

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 1.1. | Fasilitas penunjang kegiatan lepas pantai (Technip, 2012)..... | 1 |
| Gambar 1.2. | Operasi tanker menggunakan <i>jetty</i> (Botas International Limited, 2007) | 2 |
| Gambar 1.3. | Operasi tanker menggunakan <i>single point mooring</i> (Marineinsight, 2013) | 2 |
| Gambar 1.4. | SPM IMODCO dengan kapasitas tambat 100.000 DWT (Pertamina, 2015) | 3 |
| Gambar 1.5. | SPM CALM <i>buoy</i> pada lokasi TTU Tuban | 4 |
| Gambar 1.6. | Salah satu contoh <i>joining three eyes</i> (Hi-Sea Marine, 2010) | 4 |
| Gambar 2.1. | <i>Catenary Anchor Leg Mooring</i> (CALM) (Wichers, 2013) | 12 |
| Gambar 2.2. | Tipe <i>Turret Mooring</i> (Wichers, 2013) | 13 |
| Gambar 2.3. | Tipe <i>Single Anchor Leg Mooring</i> (SALM) (Wichers, 2013) | 13 |
| Gambar 2.4. | Panjang minimum <i>mooring line</i> (Faltinsen, 1990) | 14 |
| Gambar 2.5. | Enam derajat kebebasan pada struktur bangunan apung (Wibowo, 2014) | 19 |
| Gambar 2.6. | Definisi gelombang <i>harmonic</i> (Journée dan Massie, 2001) | 19 |
| Gambar 2.7. | Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung (Djarmiko, 2012) | 20 |
| Gambar 3.1. | <i>Flow Chart</i> metodologi Tugas Akhir | 29 |
| Gambar 3.2. | <i>Layout mooring line</i> SPM CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #150 pada Lokasi A (Pertamina, 2009) | 35 |
| Gambar 3.3. | <i>Layout mooring line</i> SPM CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #035 (Pertamina, 2009) | 37 |
| Gambar 3.4. | Lokasi operasi TTU Tuban | 39 |
| Gambar 4.1. | Model <i>buoy</i> IMODCO kapasitas 100.000 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak depan | 44 |
| Gambar 4.2. | Model <i>buoy</i> IMODCO kapasitas 100.000 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak isometri | 45 |
| Gambar 4.3. | Model Tanker kapasitas 17.500 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak isometri | 46 |

| | | |
|--------------|---|----|
| Gambar 4.4. | Model Tanker kapasitas 17.500 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak melintang kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> | 46 |
| Gambar 4.5. | Model Tanker kapasitas 17.500 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak haluan | 47 |
| Gambar 4.6. | Model Tanker kapasitas 17.500 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak buritan | 47 |
| Gambar 4.7. | Model Tanker kapasitas 35.000 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak isometri | 49 |
| Gambar 4.8. | Model Tanker kapasitas 35.000 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak melintang kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> | 49 |
| Gambar 4.9. | Model Tanker kapasitas 35.000 DWT menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> tampak haluan | 50 |
| Gambar 4.10. | Model Tanker kapasitas 35.000 DWT menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> tampak buritan | 50 |
| Gambar 4.11. | Model Tanker kapasitas 100.000 DWT menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> tampak isometri | 52 |
| Gambar 4.12. | Model Tanker kapasitas 100.000 DWT menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> tampak melintang kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> | 52 |
| Gambar 4.13. | Model Tanker kapasitas 100.000 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak haluan | 53 |
| Gambar 4.14. | Model Tanker kapasitas 100.000 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak buritan | 53 |
| Gambar 4.15. | Model Tanker kapasitas 150.000 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak isometri | 55 |
| Gambar 4.16. | Model Tanker kapasitas 150.000 DWT menggunakan <i>software Hydrostar</i> tampak melintang kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> | 55 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.17. Model Tanker kapasitas 150.000 DWT menggunakan software <i>Hydrostar</i> tampak haluan | 56 |
| Gambar 4.18. Model Tanker kapasitas 150.000 DWT menggunakan software <i>Hydrostar</i> tampak buritan | 56 |
| Gambar 4.19. Grafik RAO gerakan <i>Surge buoy</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 58 |
| Gambar 4.20. Grafik RAO gerakan <i>Sway buoy</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 58 |
| Gambar 4.21. Grafik RAO gerakan <i>Heave buoy</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 59 |
| Gambar 4.22. Grafik RAO gerakan <i>Roll buoy</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 59 |
| Gambar 4.23. Grafik RAO gerakan <i>Pitch buoy</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 60 |
| Gambar 4.24. Grafik RAO gerakan <i>Yaw buoy</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 60 |
| Gambar 4.25. Grafik RAO gerakan <i>Surge</i> tanker 17.500 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 61 |
| Gambar 4.26. Grafik RAO gerakan <i>Sway</i> tanker 17.500 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 62 |
| Gambar 4.27. Grafik RAO gerakan <i>Heave</i> tanker 17.500 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 63 |
| Gambar 4.28. Grafik RAO gerakan <i>Roll</i> tanker 17.500 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 64 |
| Gambar 4.29. Grafik RAO gerakan <i>Pitch</i> tanker 17.500 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan software <i>Hydrostar</i> | 65 |

| | |
|--|----|
| Gambar 4.30. Grafik RAO gerakan <i>Yaw</i> tanker 17.500 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 66 |
| Gambar 4.31. Grafik RAO gerakan <i>Surge</i> tanker 35.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 67 |
| Gambar 4.32. Grafik RAO gerakan <i>Sway</i> tanker 35.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 68 |
| Gambar 4.33. Grafik RAO gerakan <i>Heave</i> tanker 35.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 69 |
| Gambar 4.34. Grafik RAO gerakan <i>Roll</i> tanker 35.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 70 |
| Gambar 4.35. Grafik RAO gerakan <i>Pitch</i> tanker 35.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 71 |
| Gambar 4.36. Grafik RAO gerakan <i>Yaw</i> tanker 35.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 72 |
| Gambar 4.37. Grafik RAO gerakan <i>Surge</i> tanker 100.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 73 |
| Gambar 4.38. Grafik RAO gerakan <i>Sway</i> tanker 100.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 74 |
| Gambar 4.39. Grafik RAO gerakan <i>Heave</i> tanker 100.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software</i> <i>Hydrostar</i> | 75 |

| | |
|---|----|
| Gambar 4.40. Grafik RAO gerakan <i>Roll</i> tanker 100.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software Hydrostar</i> | 76 |
| Gambar 4.41. Grafik RAO gerakan <i>Pitch</i> tanker 100.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software Hydrostar</i> | 77 |
| Gambar 4.42. Grafik RAO gerakan <i>Yaw</i> tanker 100.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software Hydrostar</i> | 78 |
| Gambar 4.43. Grafik RAO gerakan <i>Surge</i> tanker 150.000 DWT pada kondisi <i>full load</i> dan <i>ballast</i> menggunakan <i>software Hydrostar</i> | 79 |
| Gambar 4.44. Grafik RAO gerakan <i>Sway</i> tanker 150.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software Hydrostar</i> | 80 |
| Gambar 4.45. Grafik RAO gerakan <i>Heave</i> tanker 150.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software Hydrostar</i> | 81 |
| Gambar 4.46. Grafik RAO gerakan <i>Roll</i> tanker 150.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software Hydrostar</i> | 82 |
| Gambar 4.47. Grafik RAO gerakan <i>Pitch</i> tanker 150.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software Hydrostar</i> | 83 |
| Gambar 4.48. Grafik RAO gerakan <i>Yaw</i> tanker 150.000 DWT pada kondisi <i>full cargo</i> dan <i>10% cargo</i> menggunakan <i>software Hydrostar</i> | 84 |
| Gambar 4.49. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>heave</i> untuk tanker 100.000 DWT | 92 |
| Gambar 4.50. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>roll</i> untuk tanker 100.000 DWT | 93 |

| | |
|---|-----|
| Gambar 4.51. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>pitch</i> untuk tanker 100.000 DWT | 93 |
| Gambar 4.52. Ilustrasi <i>heave</i> dan <i>pitch</i> signifikan ketika terjadi bersamaan <i>Hs</i> 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 100.000 DWT | 94 |
| Gambar 4.53. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>heave</i> untuk tanker 150.000 DWT | 96 |
| Gambar 4.54. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>roll</i> untuk tanker 150.000 DWT | 96 |
| Gambar 4.55. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>pitch</i> untuk tanker 150.000 DWT | 96 |
| Gambar 4.56. Nilai <i>heave</i> dan <i>pitch</i> signifikan ketika terjadi bersamaan <i>Hs</i> 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 150.000 DWT | 97 |
| Gambar 4.57. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>heave</i> untuk tanker 17.500 DWT | 99 |
| Gambar 4.58. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>roll</i> untuk tanker 17.500 DWT..... | 99 |
| Gambar 4.59. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>pitch</i> untuk tanker 17.500 DWT | 100 |
| Gambar 4.60. Nilai <i>heave</i> dan <i>pitch</i> signifikan ketika terjadi bersamaan <i>Hs</i> 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 17.500 DWT | 100 |
| Gambar 4.61. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>heave</i> untuk tanker 35.000 DWT | 102 |
| Gambar 4.62. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>roll</i> untuk tanker 35.000 DWT | 103 |
| Gambar 4.63. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan <i>pitch</i> untuk tanker 35.000 DWT | 103 |
| Gambar 4.64. Nilai <i>heave</i> dan <i>roll</i> signifikan ketika terjadi bersamaan <i>Hs</i> 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 35.000 DWT | 104 |

DAFTAR TABEL

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabel 2.1. | Kriteria <i>safety factor</i> tali tambat (API RP 2SK, 2005) | 16 |
| Tabel 3.1. | Data struktur CALM <i>Buoy</i> IMODCO (Pertamina, 2015) | 33 |
| Tabel 3.2. | Data <i>mooring line</i> CALM <i>Buoy</i> IMODCO (Pertamina, 2015) | 33 |
| Tabel 3.3. | Data <i>subsea hose</i> CALM <i>Buoy</i> IMODCO (Pertamina, 2015) | 33 |
| Tabel 3.4. | Data struktur CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #150 PT. Pertamina (Pertamina, 2009) | 33 |
| Tabel 3.5. | Data <i>mooring line</i> CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #150 PT. Pertamina (Pertamina, 2009) | 34 |
| Tabel 3.6. | Data <i>hawser</i> CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #150 PT. Pertamina (Pertamina, 2009) | 34 |
| Tabel 3.7. | Data <i>subsea hose</i> CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #150 PT. Pertamina (Pertamina, 2009) | 34 |
| Tabel 3.8. | Data struktur CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #035 PT. Pertamina (Pertamina, 2009) | 35 |
| Tabel 3.9. | Data <i>mooring line</i> CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #035 PT. Pertamina (Pertamina, 2009) | 36 |
| Tabel 3.10. | Data <i>hawser</i> CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #035 PT. Pertamina (Pertamina, 2009) | 36 |
| Tabel 3.11. | Data <i>subsea hose</i> CALM <i>Buoy</i> TTU Tuban #035 PT. Pertamina (Pertamina, 2009) | 36 |
| Tabel 3.12. | Data tanker 17.500 DWT menggunakan metode estimasi | 38 |
| Tabel 3.13. | Data tanker 35.000 DWT (Pertamina, 2009) | 38 |
| Tabel 3.14. | Data tanker 100.000 DWT (Pertamina, 2009) | 38 |
| Tabel 3.15. | Data tanker 150.000 DWT menggunakan metode estimasi | 39 |
| Tabel 3.16. | <i>Reccuring “all direction” maximum waves for significant wave pada Lokasi A (IKPT, 2008)</i> | 40 |
| Tabel 3.17. | <i>Reccuring “all direction” maximum waves for significant wave pada Lokasi B (IKPT, 2008))</i> | 40 |
| Tabel 3.18. | Distribusi Tinggi Gelombang dan <i>Peak Period</i> (IKPT, 2008) | 40 |
| Tabel 3.19. | <i>Recurring All Direction Wind Speed</i> (IKPT, 2008) | 41 |
| Tabel 3.20. | <i>Current return period</i> pada lokasi A (IKPT, 2008) | 41 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Tabel 3.21. | <i>Current return period</i> pada lokasi B (IKPT, 2008) | 41 |
| Tabel 3.22. | Desain operasi SPM #150 (Sofec, 2008) | 42 |
| Tabel 3.23. | Desain operasi SPM #035 (Sofec, 2008) | 42 |
| Tabel 4.1. | Skenario kerja yang digunakan dalam penelitian tugas akhir | 43 |
| Tabel 4.2. | Validasi pemodelan <i>buoy</i> | 45 |
| Tabel 4.3. | Validasi pemodelan tanker 17.500 DWT kondisi <i>full cargo</i> | 47 |
| Tabel 4.4. | Validasi pemodelan tanker 17.500 DWT kondisi <i>full cargo</i> (lanjutan) | 48 |
| Tabel 4.5. | Validasi pemodelan tanker 17.500 DWT kondisi <i>10% cargo</i> | 48 |
| Tabel 4.6. | Validasi pemodelan tanker 35.000 DWT kondisi <i>full cargo</i> | 50 |
| Tabel 4.7. | Validasi pemodelan tanker 35.000 DWT kondisi <i>full cargo</i> (lanjutan) | 51 |
| Tabel 4.8. | Validasi pemodelan tanker 35.000 DWT kondisi <i>10% cargo</i> | 51 |
| Tabel 4.9. | Validasi pemodelan tanker 100.000 DWT kondisi <i>full cargo</i> | 53 |
| Tabel 4.10. | Validasi pemodelan tanker 100.000 DWT kondisi <i>full cargo</i> (lanjutan)..... | 54 |
| Tabel 4.11. | Validasi pemodelan tanker 100.000 DWT kondisi <i>10% cargo</i> | 54 |
| Tabel 4.12. | Validasi pemodelan tanker 150.000 DWT kondisi <i>full cargo</i> | 56 |
| Tabel 4.13. | Validasi pemodelan tanker 150.000 DWT kondisi <i>full cargo</i> (lanjutan)..... | 57 |
| Tabel 4.14. | Validasi pemodelan tanker 150.000 DWT kondisi <i>10% cargo</i> | 57 |
| Tabel 4.15. | <i>Significant tension</i> pada <i>mooring line buoy</i> SPM IMODCO pada lokasi A | 85 |
| Tabel 4.16. | <i>Significant motion</i> SPM IMODCO pada lokasi A | 86 |

| | | |
|-------------|---|-----|
| Tabel 4.17. | <i>Significant tension</i> pada <i>mooring line</i> buoy SPM IMODCO pada lokasi B | 86 |
| Tabel 4.18. | <i>Significant motion</i> SPM IMODCO pada lokasi B | 87 |
| Tabel 4.19. | <i>Significant tension</i> pada <i>mooring line</i> SPM IMODCO kondisi tertambat tanker pada lokasi A | 88 |
| Tabel 4.20. | <i>Significant motion</i> SPM IMODCO kondisi tertambat tanker pada lokasi A..... | 88 |
| Tabel 4.21. | <i>Significant tension</i> pada <i>mooring line</i> SPM IMODCO kondisi tertambat tanker pada lokasi B | 89 |
| Tabel 4.22. | <i>Significant motion</i> SPM IMODCO kondisi tertambat tanker pada lokasi B | 89 |
| Tabel 4.23. | Kriteria Operabilitas | 91 |
| Tabel 4.24. | <i>SF</i> untuk <i>Significant tension</i> pada <i>mooring line</i> SPM IMODCO dengan tertambat tanker 100.000 DWT pada variasi <i>Hs</i> | 91 |
| Tabel 4.25. | <i>Significant motion</i> SPM IMODCO dengan tertambat tanker 100.000 DWT pada variasi <i>Hs</i> | 92 |
| Tabel 4.26. | Nilai presentase <i>not operable</i> tanker 100.000 DWT | 94 |
| Tabel 4.27. | <i>SF</i> untuk <i>Significant tension</i> pada <i>mooring line</i> SPM IMODCO dengan tertambat tanker 150.000 DWT pada variasi <i>Hs</i> | 95 |
| Tabel 4.28. | <i>Significant motion</i> SPM IMODCO dengan tertambat tanker 150.000 DWT pada variasi <i>Hs</i> | 95 |
| Tabel 4.29. | Nilai presentase <i>not operable</i> tanker 150.000 DWT | 97 |
| Tabel 4.30. | <i>SF</i> untuk <i>Significant tension</i> pada <i>mooring line</i> SPM IMODCO dengan tertambat tanker 17.500 DWT pada variasi <i>Hs</i> | 98 |
| Tabel 4.31. | <i>Significant motion</i> SPM IMODCO dengan tertambat tanker 17.500 DWT pada variasi <i>Hs</i> | 98 |
| Tabel 4.32. | Nilai presentase <i>not operable</i> tanker 17.500 DWT | 101 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| Tabel 4.33. | <i>SF</i> untuk <i>Significant tension</i> pada <i>mooring line</i> SPM IMODCO dengan tertambat tanker 35.000 DWT pada variasi <i>Hs</i> | 101 |
| Tabel 4.34. | <i>Significant motion</i> SPM IMODCO dengan tertambat tanker 35.000 DWT pada variasi <i>Hs</i> | 102 |
| Tabel 4.35. | Nilai presentase <i>not operable</i> tanker 35.000 DWT | 104 |
| Tabel 4.36. | <i>Wave scatter diagram</i> yang digunakan sebagai acuan | 105 |
| Tabel 4.37. | <i>Wave scatter diagram</i> untuk tanker 150.000 DWT | 106 |
| Tabel 4.38. | <i>Wave scatter diagram</i> untuk tanker 100.000 DWT | 107 |
| Tabel 4.39. | <i>Wave scatter diagram</i> untuk tanker 35.000 DWT | 108 |
| Tabel 4.40. | <i>Wave scatter diagram</i> untuk tanker 17.500 DWT | 109 |

DAFTAR LAMPIRAN

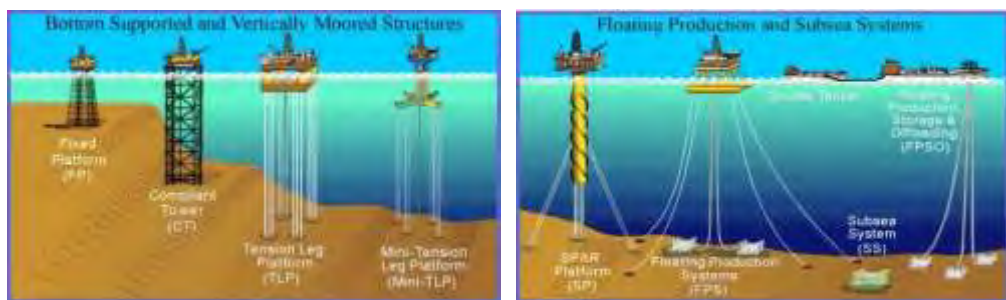
| | |
|--------------|---|
| Lampiran A-1 | Sketsa SPM IMODCO |
| Lampiran A-2 | <i>Input</i> Pemodelan <i>Buoy</i> pada <i>Software Hydrostar</i> |
| Lampiran A-3 | <i>Input</i> Pemodelan Tanker pada <i>Software Hydrostar</i> |
| Lampiran B-1 | RAO Struktur |
| Lampiran B-2 | Hasil Simulasi <i>Time Domain – Tension</i> |
| Lampiran B-3 | Hasil Simulasi <i>Time Domain – Motion</i> |
| Lampiran B-4 | Grafik Simulasi <i>Time Domain</i> Variasi <i>Hs</i> |
| Lampiran B-5 | Hasil Simulasi <i>Time Domain</i> Variasi <i>Hs – Tension</i> |
| Lampiran B-6 | Hasil Simulasi <i>Time Domain</i> Variasi <i>Hs – Motion</i> |

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Fluktuasi harga minyak bumi terus menerus terjadi - pada suatu waktu tertentu harga minyak bumi dapat menembus angka 100 dolar Amerika, hingga dan selanjutnya turun di kisaran 30 dolar Amerika per barelnya. Namun demikian, produksi minyak dan gas bumi akan terus terjadi karena permintaan yang masih tinggi. Seiring dengan pengembangan teknologi, eksploitasi minyak dan gas yang awalnya dilakukan di darat mulai bergeser ke lokasi lepas pantai. Bersama dengan fenomena ini, diperlukan pula teknologi untuk menunjang kegiatan eksplorasi, eksploitasi, dan produksi lepas pantai. Beberapa contoh fasilitas penunjang yang telah banyak digunakan ditunjukkan dalam gambar 1.1.



Gambar 1.1. Fasilitas penunjang kegiatan lepas pantai (Technip, 2012)

Soedjono (1998) menjelaskan bahwa konstruksi anjungan lepas pantai dapat dibedakan menjadi 3 golongan utama, yaitu :

1. Struktur terapung atau *floating structure*, seperti: *semi-submersible*, *drilling ship*, *tension leg platform (TLP)*, *jack-up*, dll.
2. Struktur terpancang atau *fixed structure*, seperti: *jacket platform*, *concrete gravity*, *tripod*, dll.
3. Struktur lentur atau *Compliant structure*, seperti: *articulated tower*, *guyed tower*, dll.

Produk yang telah selesai diproses di lokasi lepas pantai, selanjutnya harus diangkut ke fasilitas di darat. Hingga saat ini, proses transportasi dari fasilitas lepas pantai ke darat dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu dengan

menggunakan pipa bawah laut atau kapal tanker (Satria, 2013). Pada lokasi yang cukup jauh dari darat, penggunaan kapal tanker dianggap lebih ekonomis. Menurut Satria (2013), tanker pada pengoperasiannya membutuhkan beberapa fasilitas penunjang antara lain:

- a. *Jetty / Dermaga* : Digunakan untuk tanker dengan DWT kecil.
- b. *Single Point Mooring* : Digunakan untuk tanker dengan DWT besar.



Gambar 1.2. Operasi tanker menggunakan *jetty* (Botas International Limited, 2007)



Gambar 1.3. Operasi tanker menggunakan *single point mooring* (Marineinsight, 2013)

PT Pertamina (Persero) sebagai salah satu perusahaan milik negara yang bergerak di bidang energi meliputi minyak, gas, energi baru dan terbarukan memiliki berbagai aset penunjang eksplorasi, eksploitasi, produksi, hingga distribusi energi ke seluruh penjuru nusantara. Salah satu aset penunjang yang cukup berpengaruh adalah *Single Point Mooring* khususnya tipe *CALM Buoy* yang digunakan di beberapa kilang di Indonesia. *CALM Buoy* berfungsi sebagai fasilitas transfer antara tanker dan kilang yang membuatnya menjadi salah satu aset yang berperan penting dalam keberlangsungan distribusi produk di seluruh penjuru nusantara.

SPM *CALM Buoy* sebagaimana struktur bangunan laut pada umumnya akan membutuhkan *maintenance* dalam periode waktu tertentu agar dapat digunakan secara optimum. Proses *maintenance* dapat dilakukan di lokasi atau di dok. Permasalahan terjadi pada saat sebuah SPM *CALM Buoy* menjalani *maintenance* yang mengharuskannya melakukan *dry docking*. Pada saat *dry docking*, sebuah SPM *CALM Buoy* tidak dapat dioperasikan dan kilang berpotensi mengalami

kerugian karena penyaluran produk pada lokasi tersebut akan berkurang bahkan tidak dapat dilakukan. Hal ini akan menyebabkan kerugian yang cukup besar – padahal proses *maintenance* mutlak harus dilakukan.

Salah satu solusi yang dapat dilakukan adalah menyewa SPM CALM *Buoy* lain untuk menggantikan SPM CALM *Buoy* yang sedang menjalani *maintenance*. Permasalahan lainnya muncul ketika biaya yang digunakan untuk menyewa sebuah SPM CALM *Buoy* menjadi terlalu besar sehingga keseluruhan mata rantai produksi menjadi tidak ekonomis.

Berkenaan dengan hal tersebut, salah satu solusi yang sedang dipertimbangkan oleh PT Pertamina (Persero) adalah dengan menggunakan sebuah *common spare* SPM CALM *Buoy*. *Common spare* ini rencananya akan menjadi pengganti ketika sebuah SPM menjalani *maintenance* yang dilakukan di dok. *Buoy* dari *common spare* akan dipindahkan ke lokasi yang membutuhkan penggantian. *Buoy* dari *common spare* tersebut nantinya akan ditambat menggunakan *mooring line* yang tersedia di lokasi tersebut.

Berdasarkan kajian yang telah dilakukan oleh PT Pertamina (Persero), *buoy* yang rencananya akan digunakan sebagai *common spare* CALM *buoy* adalah SPM IMODCO yang sebelumnya dioperasikan oleh PT Pertamina EP Region Sumatera. *Buoy* yang dibangun pada tahun 1969 dan mulai beroperasi pada tahun 1970 ini nantinya akan diperbaiki dan dimodifikasi agar dapat beroperasi dengan baik sebagai *common spare*.



Gambar 1.4. SPM IMODCO dengan kapasitas tambat 100.000 DWT
(Pertamina, 2015)



(a)



(b)

Gambar 1.5. (a) SPM CALM *Bouy* #150 pada lokasi TTU Tuban (Sofec, 2008),
(b) SPM CALM *Bouy* #035 pada lokasi TTU Tuban (Sofec, 2008)

Permasalahan lain muncul karena *Buoy common spare* hanya memiliki empat *mooring line*, sementara pada beberapa lokasi sebagai contoh Terminal Transfer Utama (TTU) Tuban memiliki enam *mooring line*. Karena itu, pada dua titik tertentu akan dipasang dua *line* menggunakan *joining three eyes* harus diperhatikan di sini bahwa perbedaan konfigurasi *mooring line* akan mempengaruhi respon gerak yang terjadi.



Gambar 1.6. Salah satu contoh *joining three eyes* (Hi-Sea Marine, 2010)

Selain itu, penggunaan *common spare* CALM buoy ini akan menimbulkan perbedaan desain antara tali tambat dan *buoy* yang berujung pada perbedaan stabilitas dan respon gerak. Ketika stabilitas dan respon gerak berubah,

operabilitas dari *common spare* SPM otomatis akan berubah. Nilai operabilitas ini menjadi sebuah sorotan yang penting dalam penggunaan *common spare* SPM. Ditambah lagi *common spare* SPM yang nantinya akan digunakan di beberapa lokasi juga akan memberikan nilai operabilitas yang berbeda.

Oleh karena itu, pada tugas akhir ini akan dilakukan studi operabilitas *common spare* SPM yang mencakup pengaruh perilaku gerak pada kemampuan operasi. Studi kasus yang ditinjau pada tugas akhir ini adalah ketika *common spare* beroperasi di TTU Tuban.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini adalah:

1. Bagaimana pengaruh ukuran *buoy* terhadap kekuatan *mooring line*?
2. Bagaimana perilaku gerak *common spare* SPM pada kondisi tertambat dengan variasi ukuran kapal di lokasi operasi?
3. Bagaimana operabilitas *common spare* SPM pada kondisi tertambat di lokasi operasi ?

1.3. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh ukuran *buoy* terhadap kekuatan *mooring line*.
2. Menganalisis perilaku gerak *common spare* SPM pada kondisi tertambat dengan variasi ukuran kapal di lokasi operasi.
3. Menganalisis operabilitas *common spare* SPM pada kondisi tertambat di lokasi operasi.

1.4. Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui pengaruh dimensi *buoy* dan kapasitas kapal tertambat pada perilaku gerak *common spare* SPM CALM *buoy*.
2. Mengetahui cara mendapatkan perilaku gerak *common spare* SPM pada kondisi operasi.
3. Mengetahui cara menghitung dan nilai operabilitas *common spare* SPM CALM *buoy* ketika *buoy* dan tali tambat memiliki kapasitas desain yang berbeda.

1.5. Batasan Masalah

Pembatasan masalah dilakukan untuk menghindari pembahasan yang melebar serta memudahkan penelitian dan dapat dicapai tujuan yang diharapkan. Batasan ruang lingkup yang diberlakukan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini menggunakan *buoy* dari *used* SPM IMODCO yang sebelumnya dioperasikan oleh PT Pertamina EP Region Sumatera yang akan digunakan sebagai *common spare SPM* dengan kapasitas 100.000 DWT.
2. SPM beroperasi di Terminal Transfer Utama Tuban (TTU Tuban) yang dioperasikan oleh PT Pertamina (Persero).
3. Beban lingkungan yang ditinjau adalah beban angin, arus, dan gelombang .
4. Arah pembebanan yang digunakan adalah *head seas* dan posisi kapal adalah *in-line, between line*
5. Jumlah tali tambat dan *properties* disesuaikan dengan konfigurasi CALM *buoy* pada lokasi operasi yaitu TTU Tuban.
6. Tidak dilakukan pembahasan mengenai posisi kedalaman dari *joining three eyes* dan diasumsikan penambatan dilakukan pada *fairlead* di sisi bawah *buoy*.
7. Tidak dilakukan analisis terhadap efek penguatan struktur *buoy common spare*.
8. Jangkar dianggap *fixed* sehingga tidak dilakukan analisa terhadap *holding capacity*.
9. *Floating hose* dan *subsea hose* tidak dimodelkan dan pergerakannya diabaikan.
10. Mekanisme *Turntable* tidak dimodelkan.
11. Perpipaan vertikal pada *buoy* tidak dimodelkan dan diabaikan.
12. Kapasitas kapal tambat yang ditinjau adalah 35.000 DWT dan 17.500 DWT untuk SPM TTU Tuban 35.000 DWT.
13. Kapasitas kapal tambat yang ditinjau adalah 150.000 DWT dan 100.000 DWT untuk SPM TTU Tuban 150.000 DWT.
14. Variasi muatan tanker adalah *full cargo* dan *10% cargo*.

15. Pada kondisi *ballast* tanki air *ballast* diisi penuh, dianggap *even keel* dan telah memenuhi stabilitas kapal.
16. Properti mekanik dari *subsea hose* dianggap sama antara *common spare* SPM dan SPM pada lokasi operasi.
17. *Seabed* dianggap rata.
18. Tanker ditambat ke CALM Buoy dengan sistem *hawser*.
19. Perhitungan olah gerak pada kondisi *free floating* untuk mendapatkan RAO, *added mass*, serta *damping factor* menggunakan software *HydroSTAR*. *Software Ariane* digunakan untuk mendapatkan *tension mooring* serta perilaku gerak tertambat pada CALM buoy dengan dan tanpa tanker tertambat.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam laporan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini menjelaskan tentang latar belakang penelitian yang akan dilakukan, perumusan masalah, tujuan yang ingin dicapai dalam penulisan tugas akhir, manfaat yang diperoleh, batasan masalah untuk membatasi analisis yang dilakukan, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

Bab ini berisi tinjauan pustaka dan dasar teori, mengenai hal-hal yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini. Persamaan-persamaan dan codes yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini diuraikan dalam bab ini.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai langkah-langkah pengerjaan untuk menyelesaikan tugas akhir ini dan metode-metode yang digunakan.

BAB IV ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini membahas permodelan dan analisis *free floating* SPM serta tanker yang tertambat menggunakan *software HydroSTAR*. Analisis perilaku gerak SPM dan tanker dalam kondisi tertambat dilakukan menggunakan *software Ariane*. Selanjutnya respon gerak tertambat dibandingkan dengan

kriteria operasi dan data sebaran gelombang untuk mendapatkan nilai operabilitas.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan kesimpulan mengenai tahap akhir dari penulisan tugas akhir, yang mana berisi tentang hasil akhir dari analisis yang telah dilakukan sesuai dengan permasalahan yang ada, serta beberapa saran yang dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam penyempurnaan dari hasil analisis yang telah dilakukan.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Seiring dengan pergeseran kegiatan eksplorasi dan eksploitasi bahan bakar fosil ke perairan yang lebih dalam, penggunaan *floating structure* sebagai sarana pendukung menjadi terlihat lebih menjanjikan. Wibowo (2014) dalam tulisannya memaparkan bahwa kemampuan struktur untuk berpindah setelah operasi selesai serta keunggulannya secara ekonomis membuat pelaku industri lebih melirik *floating structure* sebagai pilihannya dalam menjalankan bisnis. Selain itu, kapasitas muat yang pada umumnya cukup besar serta jangkauan distribusi yang lebih baik juga menjadi daya tarik lainnya.

Salah satu *floating structure* yang cukup populer digunakan di seluruh belahan dunia adalah *single point mooring*. Terdapat berbagai jenis *single point mooring* yang digunakan di berbagai wilayah menyesuaikan dengan kebutuhan yang ada. Dalam operasi lepas pantai di Indonesia, *single point mooring* paling banyak digunakan sebagai sarana penunjang distribusi minyak. Karena SPM bersifat mengapung, maka diperlukan *mooring line* sebagai sistem penjangkaran SPM untuk mempertahankan kedudukannya dan untuk menjaga kekuatan *subsea hose* (Dewi, 2011).

Pada dasarnya, *floating structure* akan selalu bergerak dan berpindah posisi dikarenakan eksitasi beban lingkungan. Untuk mengatasi hal tersebut keberadaan sistem tambat adalah mutlak dalam sistem operasi menggunakan *floating structure*. (Chakrabarti, 1987).

Djarmiko (2003) memaparkan bahwa gerakan dari suatu struktur terapung menimbulkan adanya gaya-gaya yang bekerja *mooring system*. Begitu juga sebaliknya *mooring system* memberikan gaya pengembali pada struktur agar gerakannya menjadi kecil. Oleh sebab itu, analisis pada *mooring system* perlu dilakukan guna menjaga operabilitas dan keselamatan kinerja tempat di mana bangunan apung tersebut beroperasi.

Secara sederhana, prediksi gerakan dan beban yang terjadi pada *floating body* dan komponen lainnya seperti *mooring line* dan *floating hose* dilakukan

dengan metode *uncoupled*. Dengan bertambahnya kedalaman pendekatan secara *uncoupled* menjadi tidak lagi mampu menggambarkan interaksi antara *floating body* dan komponen yang ada. (O'Sullivan, 2003). Hal ini disebabkan karena dengan bertambahnya kedalaman perairan, berat dari komponen yang terpasang pada *buoy* seperti *floating hose* maupun *mooring line* dan *subsea hose* menjadi semakin besar pula. Pertambahan berat membuat berat komponen-komponen tersebut mendekati nilai berat dari *buoy*. Efek dinamis *coupling* dari *buoy* dan komponennya menjadi signifikan. Oleh karena itu, prediksi akurat terhadap efek dinamis *coupling* sangatlah penting untuk proses desain sistem offloading, terutama beban kelelahan (Song, 2014)

Seperti yang telah dijabarkan oleh Perwitasari (2010), apabila sebuah sistem dianggap linear dan beban-beban yang terjadi hanya mengandung variable orde satu, maka persamaan gerak yang terjadi dapat dipecahkan dengan menggunakan pendekatan simulasi *frequency domain* dan hubungan antara beban serta respon yang terjadi juga menjadi linear. Namun apabila terdapat variabel non-linear seperti gelombang orde dua, non-linear *viscous damping*, gaya dan momen yang diakibatkan oleh beban angin dan arus maka pendekatan secara *frequency domain* menjadi kurang valid. Untuk mengakomodir variable-variabel non-linear tersebut maka hukum ke-2 Newton diselesaikan sebagai fungsi waktu.

Pada metode *coupled analysis* gerakan dari floater dan mooring serta *riser* dianalisis secara bersamaan dengan menggunakan pendekatan *time domain*. Gaya pada *floater* kemudian diimplementasikan sebagai gaya *node* pada ujung model *finite element* dari *mooring* dan *riser*. Alasan penggunaan *coupled analysis* adalah untuk menghilangkan keterbatasan dari *uncoupled analysis*, sehingga konsekuensinya gerakan dari struktur apung yang diestimasi serta respon dinamis dari *mooring* dan *riser* akan menjadi lebih akurat (Ebbesen, 2013).

Dalam operasi lepas pantai, sebuah sistem akan terekspose dengan beban gelombang, angin serta arus yang terkadang dapat menyebabkan terhentinya proses operasi. Faktor lingkungan yang paling berpengaruh ditentukan oleh seberapa besar beban yang ditimbulkan, respon *floating structure* serta seberapa kuat struktur tersebut menghadapi respon yang terjadi (van der Wal, 2004). Oleh karena itu, analisis terhadap *mooring system* dalam berbagai kondisi cuaca juga

penting dilakukan untuk mengetahui pengaruh pendorong dan redaman dari sistem tambat pada berbagai moda gerakan dan kekuatan dari sistem tambat (Yilmaz dan Incecik, 1994). Hal-hal tersebut sangat berkaitan dengan kemampuan operasi dari suatu sistem.

Djarmiko (2012) memaparkan bahwa prosedur umum yang diterapkan untuk melakukan evaluasi operabilitas adalah dengan mengintegrasikan hasil prediksi respon gerakan di laut riil dengan sistem konstrain operasional.

Dalam penelitian sebelumnya, Dewi (2011) melakukan analisis operabilitas SPM akibat perubahan konfigurasi tali tambat dan daerah operasi. Pada penelitian ini dilakukan analisis operabilitas pada SPM akibat perubahan konfigurasi tali tambat, daerah operasi dan ukuran *buoy*. Berbeda dengan penelitian sebelumnya, SPM yang ditinjau pada penelitian ini tidaklah bersifat permanen atau hanya bersifat sementara penggunaannya pada lokasi operasi tertentu. Lokasi yang ditinjau pada penelitian ini adalah Terminal Transfer Utama Tuban yang dioperasikan oleh PT. Pertamina (Persero).

2.2. Dasar Teori

2.2.1. Aspek Umum Sistem *Mooring*

2.2.1.1. *Single Point Mooring*

Single Point Mooring merupakan suatu sistem terminal di lepas pantai yang memiliki 2 (dua) fungsi utama yaitu sebagai tempat tambat atau *mooring* dan sebagai media penyalur perpindahan suatu kargo produk migas dari dan ke suatu struktur terapung. SPM memiliki keunggulan utama pada kemampuan operasi di perairan dalam yang cukup efektif dan murah mengingat bahwa kapal-kapal dalam kategori VLCC dan ULCC memiliki sarat air yang relative besar. Lokasi yang dapat sangat jauh dari daratan membuat penggunaan SPM sangat efektif (Wichers, 2013). Selain itu, SPM memposisikan kapal dalam kondisi *weather vane* – kondisi dimana kapal masih dapat bergerak mengikuti beban lingkungan sehingga mengurangi beban yang akan dialami oleh sistem (API RP 2SK, 2005).

Dalam perkembangannya hingga saat ini, terdapat banyak jenis sistem tambat yang dikembangkan dan telah digunakan di berbagai belahan dunia – walaupun banyak diantaranya merupakan modifikasi dari bentuk-bentuk dasar

sistem tambat. Secara umum SPM dapat diklasifikasikan dalam tiga konfigurasi berikut

a. *Catenary Anchor Leg Mooring (CALM)*

Terdiri atas sebuah *buoy* (objek terapung) dengan 4 atau lebih rantai pengikat hingga ke dasar laut. Tipe ini memiliki *mooring line* yang tergelar di dasar laut. *Mooring line* akan menerima *tension* yang berasal dari beban lingkungan dan beban akibat struktur apung yang ditambatkan serta dari berat material *mooring line* itu sendiri. Dalam gambar 2.1. diberikan contoh SPM CALM *buoy* yang dioperasikan di lepas pantai.



Gambar 2.1. *Catenary Anchor Leg Mooring (CALM)* (Wichers, 2013)

b. *Turret Mooring*

Turret mooring dapat didefinisikan sebagai sebuah sistem dimana beberapa *catenary mooring legs* disambungkan pada sebuah *turret* yang merupakan bagian dari *vessel* yang ditambat (API RP 2SK, 2005). *Turret mooring* terdiri dari dua tipe, yakni *external turret system* dan *internal turret system* (API RP 2SK, 2005). *Turret* terdiri atas *bearings* yang menyebabkan kapal bisa berputar di sekitar kaki jangkar. Sistem *turret* ini memberikan kemampuan kepada FPSO terhadap *weathervane* (FPSO dapat berputar 360° mengikuti kondisi lingkungannya namun tetap tertambat pada *mooring*). *Turret mooring system* mulai dikembangkan pada tahun 1985. Adapun pertimbangan menggunakan *turret mooring* adalah adanya kondisi lingkungan yang ekstrim, kemudahan memelihara dan faktor keselamatan. Contoh salah satu sistem *turret mooring* dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2. Tipe *Turret Mooring* (Wichers, 2013)

c. *Single Anchor Leg Mooring (SALM)*

Sistem ini menggunakan sistem *riser* vertikal dengan *buoyancy* yang cukup besar di dekat permukaannya dan terkadang di permukaan, yang kemudian ditahan oleh *pretensioned riser*. Sistem ini biasanya menggunakan *articulated tubular riser* dengan *fixed yoke* (API RP 2SK, 2005). Sistem tambat SALM ditunjukkan dalam gambar 2.3.



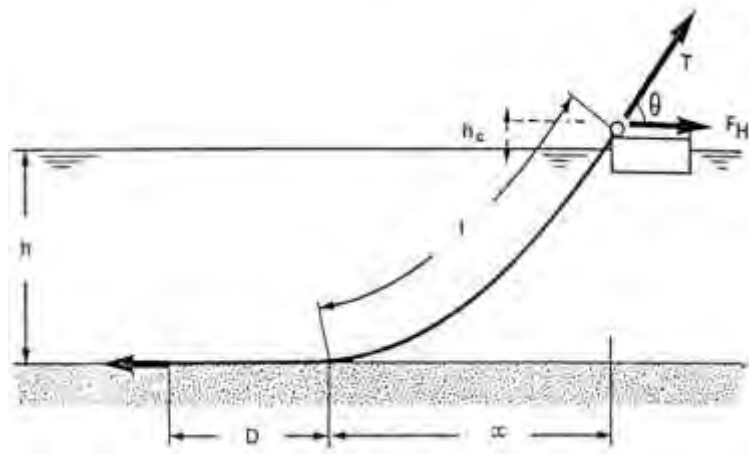
Gambar 2.3. Tipe *Single Anchor Leg Mooring (SALM)* (Wichers, 2013)

2.2.1.2. Penentuan Panjang *Mooring Line*

Desain dari sistem tambat memerlukan simulasi yang panjang serta *trial* dan *error* akibat dari banyaknya parameter desain. Bahkan apabila terdapat data lingkungan, struktur yang ditambat, jumlah dan properti dari *mooring line*, *arrangement*, orientasi dan *pretension* dari *riser*. *Trial* dan *error* sangat dibutuhkan mengingat efek dari non linear dari dinamika sistem tambat (Kim dan Bernitsas, 2001).

Sistem tambat berfungsi untuk menahan gerakan struktur terhadap eksitasi gaya lingkungan. Menurut Chakrabarti (1987), dalam mendesain sistem tambat yakni harus membuat suatu sistem cukup kuat untuk menghindari beban signifikan pada suatu *floater* dan membuatnya cukup kaku untuk menghindari apabila terjadi *offset* berlebihan.

Penentuan panjang *mooring line* berfungsi untuk menjaga benda apung agar berada pada posisi yang tepat. Selain itu juga dimaksudkan agar *mooring line* memiliki panjang dan *pretension* yang sesuai.



Gambar 2.4 Panjang minimum *mooring line* (Faltinsen, 1990)

Menurut Faltinsen (1990), berikut adalah penentuan panjang minimum dari *mooring line* (*basic equation*)

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2F_H}{w \cdot h} + 1} \quad (2.1)$$

atau

$$\frac{l}{h} = \sqrt{\frac{2T}{w \cdot h} - 1} \quad (2.2)$$

dengan :

l = panjang minimum tali tambat (m)

h = jarak vertikal dari *fairlead* ke *seabed* (m)

h_m = kedalaman air (m)

h_c = tinggi *fairlead* di atas permukaan air (m)

w = berat tali tambat di dalam air per satuan panjang

F_H = horizontal *pre-tension*

= 10% MBL

T = *tension* maksimum dari tali tambat (*pre-tension*) (kN)

D = *length resting on the seabed* (m)

Harga D dapat diasumsikan berdasarkan tipe dari tali tambat, yaitu:

- a. 200 s/d 300 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *wire rope anchor lines*.
- b. 50 s/d 100 m untuk tali tambat yang memiliki konfigurasi *chain anchor lines*.

2.2.1.3. *Tension pada Mooring Line*

Gerakan pada bangunan apung karena pengaruh beban lingkungan menyebabkan adanya tarikan pada *mooring line*. Tarikan (*tension*) yang terjadi pada *mooring line* dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

a. *Mean Tension*

Tension pada *mooring line* yang berkaitan dengan *mean offset* pada vessel.

b. *Maximum Tension*

Mean tension yang mendapat pengaruh dari kombinasi frekuensi gelombang dan *low-frequency tension*.

Menurut Faltinsen (1990), perhitungan *tension* maksimum tali tambat dapat menggunakan persamaan di bawah ini:

$$T_{max} = T_H + w \cdot h \quad (2.3)$$

dengan :

T_{max} = *tension* maksimum tali tambat (ton)

T_H = horizontal *pre-tension* (ton)

W = berat *chain* di air (ton/m)

H = kedalaman perairan (m)

Untuk mengetahui apakah desain sistem tambat pada suatu struktur telah memenuhi batas aman atau tidak, maka harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu. Pengecekan tersebut salah satunya didasarkan pada nilai *tension* yang dihasilkan oleh masing-masing tali tambat. Nilai *tension* pada tali tambat harus sesuai dengan kriteria/batasan *safety factor* tertentu. *Safety factor* tersebut dapat ditentukan berdasarkan pada suatu *rules* atau *standards*. Pada Tugas Akhir ini nilai *safety factor* mengacu pada API RP 2SK (2005), yakni sebagai berikut:

Tabel 2.1. Kriteria *safety factor* tali tambat (API RP 2SK, 2005)

| Condition | Analysis Method | Safety Factor |
|-----------|-----------------|---------------|
| Intact | Quasi-static | 2.0 |
| Intact | Dynamic | 1.67 |
| Damaged | Quasi-static | 1.43 |
| Damaged | Dynamic | 1.25 |
| Transient | Quasi-static | 1.18 |
| Transient | Dynamic | 1.05 |

Dengan persamaan *safety factor* menurut API RP 2SK (2005) adalah:

$$Safety\ Factor = \frac{Minimum\ Breaking\ Load}{Maximum\ Tension} \quad (2.4)$$

2.2.1.4. Analisis pada *Mooring Line*

Terdapat beberapa metode yang digunakan dalam analisa pada *mooring line*. Penggunaan metode yang tepat sangat diperlukan untuk menentukan respon yang terjadi pada sistem tambat. Secara garis besar, metode analisa pada *mooring line* dapat dikategorikan menjadi 3 (tiga) metode yaitu statis, quasi-statis, serta dinamis. Pada tugas akhir ini digunakan metode dinamis untuk melakukan analisa pada *mooring line*.

Berdasarkan DNV OS E301 (2004), metode analisis simulasi domain pada bangunan lepas pantai dibagi menjadi dua, yaitu:

a. Analisis Berbasis Ranah Frekuensi (*Frequency Domain Analysis*)

Frequency domain analysis adalah simulasi kejadian pada saat tertentu dengan interval frekuensi yang telah ditentukan sebelumnya. dan Keuntungan metode ini adalah tidak membutuhkan banyak waktu untuk perhitungan, *input output* juga lebih sering digunakan oleh perancang. Kekurangannya adalah untuk setiap persamaan non-linear harus diubah menjadi linear. Pada *frequency domain analysis*, keseimbangan dinamik dari sistem *linear* dapat diformulasikan dengan persamaan berikut

$$M_{(\omega)}r + C_{(\omega)}r + K_{(\omega)}r = Xe^{i\omega t} \quad (2.5)$$

dengan

$M_{(\omega)}$ = matriks massa fungsi frekuensi (ton)

$C_{(\omega)}$ = matriks *damping* fungsi frekuensi (ton/s)

$K_{(\omega)}$ = matriks kekakuan fungsi frekuensi (kN/m)

X = vektor beban kompleks memberikan informasi pada amplitudo beban dan fase pada semua derajat kebebasan

r = vektor *displacement* (m)

b. Analisis Berbasis Ranah Waktu (*Time Domain Analysis*)

Time domain analysis adalah penyelesaian gerakan dinamis berdasarkan fungsi waktu. Pendekatan yang dilakukan dalam metode ini akan menggunakan prosedur integrasi waktu dan menghasilkan *time history response* berdasarkan fungsi waktu $x(t)$.

Metode analisis *time domain* umumnya dapat digunakan untuk menganalisis semua situasi tali tambat di bawah pengaruh dinamika frekuensi gelombang. Keuntungan metode ini dibandingkan metode *frequency domain* adalah semua tipe non-linear (matriks sistem dan beban-beban eksternal) dapat dimodelkan dengan lebih tepat.

Namun, metode ini dalam membutuhkan proses lebih kompleks dan waktu yang lama. Hal ini membutuhkan simulasi *time history*. *Time history* memberikan hasil *tension* maksimum, beban jangkar, dan lain-lain. Persamaan tersebut dideskripsikan sebagai :

$$[m + A(\omega)]\ddot{x} + C(\omega)\dot{x} + D_1\dot{x} + D_2f(\dot{x}) + Kx = q_{WI} + q_{WA}^1 + q_{WA}^2 + q_{CU} + q_{xet} \quad (2.6)$$

dengan,

q_{WI} = beban seret angin (*wind drag force*)

q_{WA}^1 = beban gelombang first order

q_{WA}^2 = beban gelombang second order

q_{CU} = beban arus

q_{xet} = beban eksternal lainnya

Menurut DNV OS E301, minimal simulasi *time domain* adalah selama 3 jam (10800 detik).

Sementara persamaan gerak *low frequency* untuk struktur terapung menurut Wischers (1988) ialah :

$$(m + \mu_{11})\ddot{x}_1^{(2)} + \mu_{12}\ddot{x}_2^{(2)} + \mu_{16}\ddot{x}_6^{(2)} + (B_{11} + B_{wdd})\dot{x}_1^{(2)} = F_1^{wind} + F_1^{current} + F_1^{wave(2)} + F_1^{moor} \quad (2.7)$$

$$\mu_{21}\dot{x}_1^{(2)} + (m + \mu_{22})\ddot{x}_2^{(2)} + \mu_{26}\ddot{x}_6^{(2)} + B_{22}\dot{x}_2^{(2)} = F_2^{wind} + F_2^{current} + F_2^{wave(1)} + F_2^{moor} \quad (2.8)$$

$$\mu_{61}\dot{x}_1^{(2)} + \mu_{62}\dot{x}_2^{(2)} + (I + \mu_{66})\ddot{x}_6^{(2)} + B_{66}\dot{x}_6^{(2)} = F_6^{wind} + F_6^{current} + F_6^{wave(2)} + F_6^{moor} \quad (2.9)$$

dimana,

$$x^{(2)} = \text{low frequency motion}$$

$$B_{11}, B_{22}, B_{33} = \text{koefisien damping}$$

$$B_{wdd} = \text{koefisien wave drift damping arah sumbu } x$$

$$F_i^{current} = \text{current force}$$

$$F_i^{wind} = \text{wind force}$$

$$F_i^{moor} = \text{mooring force}$$

$$F_i^{wave(2)} = \text{second order wave drift force}$$

2.2.2. Struktur Bangunan Apung pada Gelombang Reguler

2.2.2.1. Teori Dasar Gerakan Bangunan Apung

Bangunan apung memiliki enam mode gerakan bebas (*Six Degree of Freedom*) yang terbagi menjadi dua kelompok, yaitu 3 (tiga) mode gerakan translasional dan 3 mode gerakan rotasional dalam 3 (tiga) arah sumbu (Bhattacharyya, 1978). Keenam moda gerakan tersebut adalah:

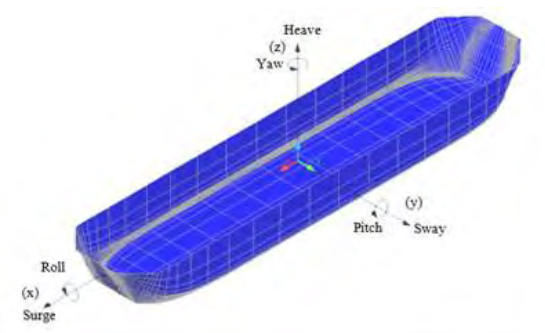
1. Moda gerak translasional

- Surge*, translasional arah sumbu x
- Sway*, translasional arah sumbu y
- Heave*, translasioal arah sumbu z

2. Moda gerak rotasional

- Roll*, rotasional arah sumbu x
- Pitch*, rotasional arah sumbu y
- Yaw*, rotasional arah sumbu z

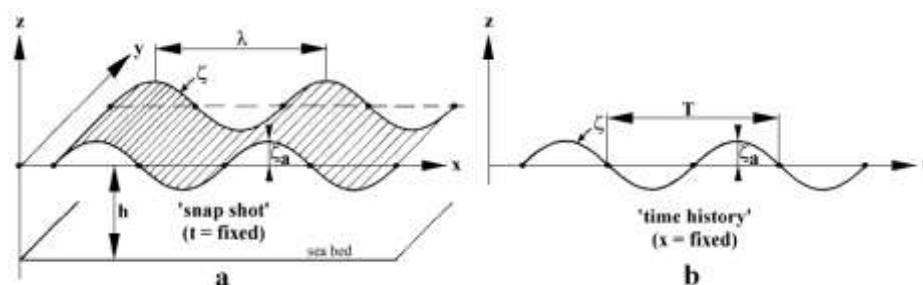
Moda gerakan tersebut dapat dilihat penjelasannya pada gambar 2.5. Dengan memakai konversi sumbu tangan kanan tiga gerakan translasi pada arah sumbu x, y dan z, adalah masing-masing *surge* (ζ_1), *sway* (ζ_2) dan *heave* (ζ_3), sedangkan untuk gerakan rotasi terhadap ketiga sumbu adalah *roll* (ζ_4), *pitch* (ζ_5) dan *yaw* (ζ_6).



Gambar 2.5 Enam derajat kebebasan pada struktur bangunan apung (Wibowo, 2014)

2.2.2.2. Gelombang Reguler

Dalam analisis hidrodinamis pada struktur bangunan laut terdapat beberapa klasifikasi kondisi hidrodinamis yang akan menentukan analisis yang akan digunakan (Perwitasari, 2010). *Chakrabarti, S. (1987)* telah mendiskripsikan bahwa gelombang reguler memiliki karakteristik yang mana dalam satu periode pada suatu *cycle* memiliki bentuk yang sama. Oleh sebab itu, secara teori akan mendiskripsikan properti dari satu *cycle* pada gelombang reguler dan properti ini tetap dari satu *cycle* ke *cycle* yang lain seperti pada gambar 2.6.



Gambar 2.6. Definisi gelombang harmonik (Journée dan Massie, 2001)

2.2.2.3. Response Amplitude Operator (RAO)

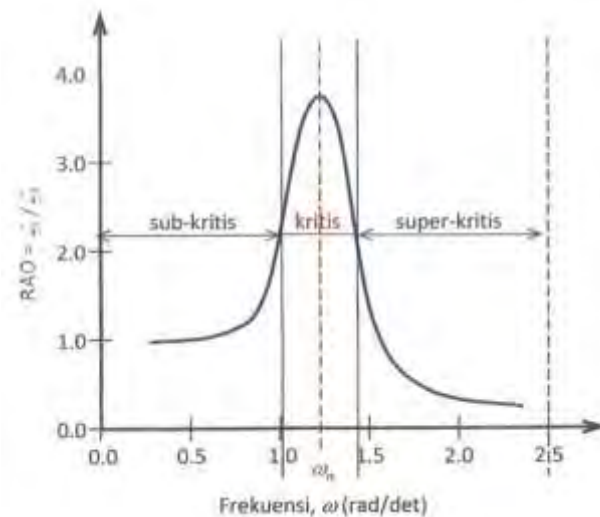
Response Amplitude Operator (RAO) atau disebut juga dengan *Transfer Function* merupakan fungsi respon yang terjadi akibat gelombang dalam rentang frekuensi yang mengenai struktur. RAO merupakan alat untuk mentransfer gaya gelombang menjadi respon gerakan dinamis struktur (Prasiwi, 2014). Menurut Chakrabarti (1987) RAO dapat didefinisikan sebagai :

$$RAO(\omega) = \frac{\zeta_{k0}}{\zeta_0} \quad (2.10)$$

dengan,

ζ_{k0} = amplitudo gerakan struktur (m),

ζ_0 = amplitudo gelombang insiden (m).



Gambar 2.7 Bentuk umum grafik respons gerakan bangunan apung

(Djarmiko, 2012)

Berdasarkan Gambar 2.7, kurva respons gerakan bangunan apung pada dasarnya dapat dibagi menjadi tiga bagian:

- Pertama adalah bagian frekuensi rendah, atau gelombang (dengan periode) panjang, yang disebut daerah sub-kritis. Pada daerah ini bangunan laut akan bergerak mengikuti pola atau kontur elevasi gelombang yang panjang sehingga amplitudo gerakan kurang lebih akan ekuivalen dengan amplitudo gelombang, atau disebut sebagai *contouring*. Dalam korelasi persamaan hidrodinamis, di daerah frekuensi rendah, atau $\omega^2 < k/(m+a)$, gerakan akan didominasi oleh faktor kekakuan.

- Kedua adalah daerah kritis, meliputi pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi rendah sampai dengan puncak kurva dan diteruskan ke pertengahan lengan kurva di sisi frekuensi tinggi. Puncak kurva berada pada frekuensi alami, yang merupakan daerah resonansi, sehingga respons gerakan mengalami magnifikasi, atau amplitudo gerakan akan beberapa kali lebih besar daripada amplitudo gelombang. Secara hidrodinamis di daerah frekuensi alami, yakni $k/(m+a) < \omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor redaman.
- Ketiga adalah daerah super kritis, yaitu daerah frekuensi tinggi, atau gelombang-gelombang (dengan periode) pendek. Pada daerah ini respons gerakan akan mengecil. Semakin tinggi frekuensi, atau semakin rapat antara puncak-puncak gelombang yang berurutan, maka akan memberikan efek seperti bangunan laut bergerak di atas air yang relatif datar. Oleh karena itu gerakan bangunan laut diistilahkan sebagai *platforming*. Dalam hal korelasi hidrodinamis, gerakan di daerah frekuensi tinggi ini, dimana $\omega^2 < k/a$, gerakan akan didominasi oleh faktor massa (Djarmiko, 2012).

Dari informasi yang didapatkan dari RAO, dapat ditentukan apakah struktur akan aman beroperasi pada suatu wilayah. Ketika periode natural struktur mendekati periode gelombang pada suatu lokasi, maka kemungkinan untuk terjadi resonansi menjadi semakin besar. Ketika terjadi resonansi antara struktur dan lingkungan operasinya, maka respon gerak yang terjadi akan menjadi lebih besar yang kemudian menimbulkan kegagalan sistem.

2.2.3. Struktur Bangunan Apung pada Gelombang Acak

2.2.3.1. Teori Spektrum Gelombang

Sebuah gelombang reguler memuat energi yang diidentifikasi pada setiap unit atau satuan luas permukaannya ekuivalen dengan harga kuadrat amplitudonya (Djarmiko, 2012).

$$\frac{dE_T}{dA} = \frac{dE_p + dE_K}{dA} = \frac{1}{2} \rho g \zeta_0^2 \quad (2.11)$$

dengan,

dE_T = energi total

dA = luas permukaan

dE_p = energi potensial

dE_k = energi kinetik

ζ_0 = amplitudo gelombang

Penjumlahan energi dari seluruh komponen gelombang reguler per satuan luas permukaan dapat diekspresikan sebagai kepadatan spektrum gelombang atau lebih dikenal dengan istilah spektrum gelombang.

Bersamaan dengan semakin meningkatnya intensitas studi yang dilakukan mengenai respon gerak pada gelombang acak telah banyak dihasilkan spektrum gelombang yang beragam sesuai dengan kondisi lingkungan yang dianalisis. Jenis-jenis spektrum gelombang yang biasa digunakan dalam perhitungan adalah model Pierson-Moskowitz (1964), ISSC (1964), Scott (1965), Bretschneider (1969), JONSWAP (1973), ITTC (1975) dan Wang (1991). Spektrum gelombang yang digunakan dalam analisis ini mengacu pada spektrum gelombang JONSWAP karena karakteristik perairan Indonesia yang tertutup/kepulauan sehingga cocok dengan karakter spektrum JONSWAP (Djarmiko, 2012).

Spektrum JONSWAP didasarkan pada percobaan yang dilakukan di *North Sea*. Persamaan spektrum JONSWAP dapat dituliskan dengan memodifikasi persamaan spektrum Pierson-Moskowitz (DNV RP-C205, 2010), yaitu :

$$S_j(\omega) = A_\gamma S_{pm}(\omega) \gamma^{\exp(-0.5(\frac{\omega-\omega_p}{\sigma\omega_p})^2)} \quad (2.12)$$

dengan,

$S_{pm}(\omega)$ = Spektra Pierson-Moskowitz

$$= \frac{5}{16} H_s^2 \omega_p^4 \omega^{-5} \exp(-\frac{5}{4} \left(\frac{\omega}{\omega_p}\right)^{-4}) \quad (2.13)$$

γ = parameter puncak (*peakedness parameter*)

σ = parameter bentuk (*shape parameter*) untuk $\omega \leq \omega_0 = 0,07$ dan
 $\omega \geq \omega_0 = 0,09$

A_γ = normalizing factor = $1 - 0.287 \ln(\gamma)$

ω = wave frequency (rad/sec)

ω_p = angular spectral peak frequency (rad/sec)

H_s = tinggi gelombang signifikan (m)

T_p = periode puncak (s)

2.2.3.2. Respons Struktur pada Gelombang Acak

Dalam analisis respon bangunan apung pada gelombang reguler dapat diketahui pengaruh interaksi hidrodinamik pada massa tambah, *potential damping* dan gaya eksternal. Analisis tersebut menghasilkan respon struktur pada gelombang reguler. Sedangkan gelombang yang terjadi di lapangan merupakan gelombang acak sehingga dituntut untuk melakukan analisis respon struktur pada gelombang acak.

Gelombang acak merupakan superposisi dari komponen-komponen pembentuknya berupa gelombang sinusoidal dalam jumlah yang tak terhingga. Tiap-tiap komponen gelombang memiliki tingkat energi tertentu yang dikontribusikan dan secara keseluruhan dapat diakumulasikan dalam bentuk spektrum energi gelombang (Djarmiko, 2012).

Respon struktur pada gelombang acak dapat dilakukan dengan mentransformasikan spektrum gelombang menjadi spektrum respon. Spektrum respon didefinisikan sebagai respon kerapatan energi pada struktur akibat gelombang. Hal ini dapat dilakukan dengan mengalikan harga kuadrat dari *Response Amplitude Operator* (RAO) dengan spektrum gelombang pada daerah struktur bangunan apung tersebut beroperasi. Persamaan spektrum respon secara matematis dapat dituliskan sebagai :

$$S_R = [RAO(\omega)]^2 S(\omega) \quad (2.14)$$

dengan :

S_R = spektrum respons (m^2 -sec)

$S(\omega)$ = spektrum gelombang (m^2 -sec)

$RAO(\omega)$ = *transfer function*

ω = frekuensi gelombang (rad/sec)

Setelah spektrum respon diperoleh maka intensitas gerakan dapat dihitung sebagai fungsi luasan di bawah kurva spektrum respon atau merupakan variasi elevasi gerakan, yaitu sebagai berikut :

$$m_{r0} = \int_0^\infty S_\zeta(\omega) d\omega \quad (2.15)$$

Berdasarkan persamaan 2.15 jika diturunkan akan didapatkan harga-harga statistik gerakan sebagai fungsi varian elevasi gerakan m_{r0} , yaitu misalnya sebagai amplitudo gerakan rata-rata yang dihitung sebagai :

$$\bar{\zeta}_r = 1.25\sqrt{m_{r0}} \quad (2.16)$$

Harga amplitudo gerakan signifikan dihitung sebagai :

$$\zeta_{rs} = 2.0\sqrt{m_{r0}} \quad (2.17)$$

Dan amplitudo respon ekstrim yang berpeluang terjadi dalam waktu T jam dapat dihitung dengan persamaan :

$$\hat{\zeta}_r = \sqrt{m_{r0}} \times \sqrt{\left\{ 2 \ln \left(\frac{60^2 T}{2\pi} \sqrt{\frac{m_{r2}}{m_{r0}}} \right) \right\}} \quad (2.18)$$

Harga m_{r2} merupakan momen kedua dari luasan di bawah kurva spektrum respon.

2.2.4. Faktor-Faktor Non-Linear

2.2.4.1. Beban Gelombang Orde Dua

Pengaruh beban gelombang *second order* akan tampak pada perilaku struktur bangunan apung yang tertambat. Pada gelombang reguler, cara yang paling sederhana untuk mendefinisikan pengaruh non linear adalah dengan melengkapi persamaan Bernoulli (Faltinsen, 1990).

$$-\frac{\rho}{2}(u^2 + v^2 + w^2) = -\frac{\rho}{2}|\bar{V}\phi|^2 \quad (2.19)$$

dimana u , v , dan w adalah vektor kecepatan fluida

Mengacu pada persamaan 2.19, dijelaskan bahwa hanya ada satu efek non-linear serta mempertimbangkan kondisi laut yang hanya terdiri dari 2 (dua) komponen gelombang pada *circular frequencies* w_1 dan w_2 . Formula untuk suatu pendekatan dari komponen- x dari kecepatan ialah :

$$u = A_1 \cos(\omega_1 t + \epsilon_1) + A_2 \cos(\omega_2 t + \epsilon_2), v = 0 \quad \text{dan} \quad w = 0 \quad (2.20)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan 2.19 dan 2.20 didapatkan :

$$-\frac{\rho}{2}u^2 = -\frac{\rho}{2} \left[\frac{A_1^2}{2} + \frac{A_2^2}{2} + \frac{A_1^2}{2} \cos(2\omega_1 t + 2\epsilon_1) + \frac{A_2^2}{2} \cos(2\omega_2 + 2\epsilon_2) + A_1 A_2 \cos[(\omega_1 - \omega_2)t + \epsilon_1 - \epsilon_2] + A_1 A_2 \cos[(\omega_1 + \omega_2)t + \epsilon_1 + \epsilon_2] \right] \quad (2.21)$$

Hasil dari persamaan tersebut dapat diklasifikasikan menjadi tiga komponen penyusun, yakni beban *mean wave (drift)*, beban osilasi variasi frekuensi dan

beban osilasi dari penjumlahan frekuensi tersebut yang akan mendeskripsikan spektrum gelombang

2.2.4.2. Beban Angin

Beban angin merupakan beban dinamis, tetapi beberapa struktur akan meresponnya pada model statis yang paling mendekati. Dalam perancangan bangunan lepas pantai pada umumnya, perhitungan beban angin didasarkan pada besarnya kecepatan ekstrem dengan periode ulang 50 atau 100 tahun. Semakin lama periode ulang yang digunakan, maka resiko kegagalan semakin besar.

Berdasarkan OCIMF (1997) *Mooring Equipment Guidelines*, perhitungan beban angin didefinisikan sebagai berikut :

Longitudinal wind force

$$F_{xw} = C_{xw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_T \quad (2.22)$$

Lateral wind force

$$F_{yw} = C_{yw} \left(\frac{\rho_w}{7600} \right) V_w^2 A_L \quad (2.23)$$

dengan,

F_{xw} = gaya angin longitudinal (kN)

F_{yw} = gaya angin lateral (kN)

C_{xw} = koefisien gaya angin longitudinal non dimensional

C_{yw} = koefisien gaya angin transversal non dimensional

ρ_w = densiti udara = 1.223 Kg/m³ pada 20⁰ C

V_w = kecepatan angin pada ketinggian 10 m (knot)

A_T = luas penampang transversal diatas air (m²)

A_L = luas penampang longitudinal diatas air (m²)

2.2.4.3. Beban Arus

Selain gelombang dan angin, arus juga memberikan gaya terhadap struktur bangunan lepas pantai. Arus akibat pasang surut memiliki kecepatan yang semakin berkurang seiring dengan bertambahnya kedalaman sesuai fungsi *non-linear*. Sedangkan arus yang disebabkan oleh angin memiliki karakter yang sama, tetapi dalam fungsi *linear*.

Arus permukaan di sekitar kapal dibangkitkan dari angin lokal, pasang surut, *stokes drift*, massa jenis arus lokal, dan fenomena *set-up* (Faltinsen, 1990). Berdasarkan OCIMF (1997) *Mooring Equipment Guidelines*, perhitungan beban arus didefinisikan sebagai berikut :

Longitudinal current force

$$F_{xc} = C_{xc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{PP} \quad (2.24)$$

Lateral current force

$$F_{yc} = C_{yc} \left(\frac{\rho_c}{7600} \right) V_c^2 T L_{PP} \quad (2.25)$$

dengan,

F_{xc} = gaya arus longitudinal (kN)

F_{yc} = gaya arus lateral (kN)

C_{xc} = koefisien gaya arus longitudinal non dimensional

C_{yc} = koefisien gaya arus transversal non dimensional

ρ_c = densiti air laut = 1025 Kg/m³ pada 20° C

V_c = kecepatan arus pada ketinggian 10 m (knot)

T = draft kapal (m)

L_{PP} = *length between perpendicular* (m)

2.2.5. Seakeeping dan Operabilitas Bangunan Apung

2.2.5.1. Seakeeping

Kriteria umum pengoperasian bangunan lepas pantai adalah *seaworthiness* dan *seakindliness*, dimana kualitas respon dan kinerjanya di atas gelombang disebut *seakeeping*. *Seaworthiness* merupakan kemampuan bangunan apung untuk menghadapi kondisi operasi ekstrem sementara *seakindliness* merupakan kemampuan bangunan apung untuk menghadapi kondisi operasi normal.

Setiap sistem lepas pantai memiliki keunikan tersendiri berkaitan dengan kemampuannya untuk beroperasi ketika terekspose dengan angin, gelombang dan arus. Secara umum, batas operasi dari suatu moda tertentu diekspresikan dalam bentuk “*downtime lines*” (Van Der Wal, 2004).

Susanto (2009) pada tulisannya mengatakan bahwa kriteria *seakeeping* digunakan sebagai acuan untuk melakukan evaluasi kemampuan bangunan apung beroperasi dengan efektif pada kondisi gelombang tertentu. Acuan ini nantinya

digunakan untuk melihat harga-harga statistik gerakan dan melihat apakah bangunan apung tersebut layak beroperasi.

Pada bukunya, Djatmiko (2012) menyatakan bahwa kriteria pengoperasian atau kriteria *seakeeping* dapat diperoleh dari berbagai cara, antara lain:

1. Pengalaman pengoperasian sistem lautan dalam kurun waktu lama dan oleh cukup banyak pihak.
2. Data-data dan catatan dari kejadian kecelakaan yang telah dianalisis lebih lanjut.
3. Dari penelitian dengan menggunakan metode yang sah, peralatan dan perlengkapan yang canggih, serta relevan.

Lebih lanjut, Djatmiko (2012) memaparkan bahwa kriteria pada tahap tertentu kemungkinan sengaja dikembangkan untuk suatu sistem dengan misi tertentu. Karena itu, kriteria *seakeeping* untuk masing-masing sistem dapat berbeda antara satu dengan lainnya.

Dalam penelitiannya, Dewi (2011) menggunakan kriteria berikut sebagai batas operasi sebuah SPM CALM *Buoy*:

1. *Tension* yang terjadi pada *mooring line* dan *hawser*
2. *Free board buoy*
3. *Offset buoy* terhadap *subsea hose*
4. *Offset tanker* terhadap *buoy*

Pada tugas akhir ini akan digunakan kriteria operasi sebagai berikut:

1. Nilai *tension significat* yang terjadi memenuhi *safety factor* berdasarkan API RP 2SK untuk simulasi dinamis yaitu sebesar 1.67.
2. Presentase kejadian dimana *buoy* tercelup sebagian atau seluruhnya berada pada nilai di bawah 20% dari total seluruh kejadian.

Kriteria ke-2 mengacu pada Lloyd's Register Rulefinder ver. 9.11. yang menyatakan bahwa sebuah struktur telah dinyatakan mengalami *capsize* ketika mengalami *roll* sebesar 30° dengan intensitas kejadian mencapai 20%. Pada sistem *buoy common spare* SPM, nilai maksimum untuk gerakan rotasional adalah 20° sementara untuk gerakan *heave* adalah -2.13 m.

2.2.5.2. Operabilitas

Van Der Wal (2004) memaparkan setidaknya terdapat 2 (dua) metode yang dapat digunakan untuk menentukan nilai *downtime*. Metode pertama yang seringkali digunakan di dunia industri adalah memprediksikan *downtime* dengan membandingkan kriteria operasi dengan *wave scatter diagram*. Metode lainnya yang lebih jarang digunakan tapi memiliki hasil yang cukup memuaskan dalam estimasi *downtime* adalah analisis berbasis durasi pekerjaan yang harus dilakukan dalam sebuah simulasi pekerjaan. Dalam tugas akhir ini, nilai operabilitas didapatkan dengan membandingkan kriteria operasi dengan *wave scatter diagram*.

Operabilitas merupakan kemampuan untuk bekerja di suatu kondisi lingkungan dengan membandingkan waktu kerja dengan total waktu (Susanto, 2009). Operabilitas tidak berhubungan dengan kejadian pada waktu spesifik tertentu, melainkan dengan dengan suatu periode waktu. Nilai operabilitas dapat dirumuskan sebagai (Djarmiko, 2012):

$$downtime = \left(\frac{Na}{Na+Nd} \right) \times 100\% \quad (2.26)$$

$$operable = 100\% - operabilitas \quad (2.27)$$

dengan

Na = Jumlah kejadian di bawah syarat batas

Nd = Jumlah kejadian melebihi syarat batas

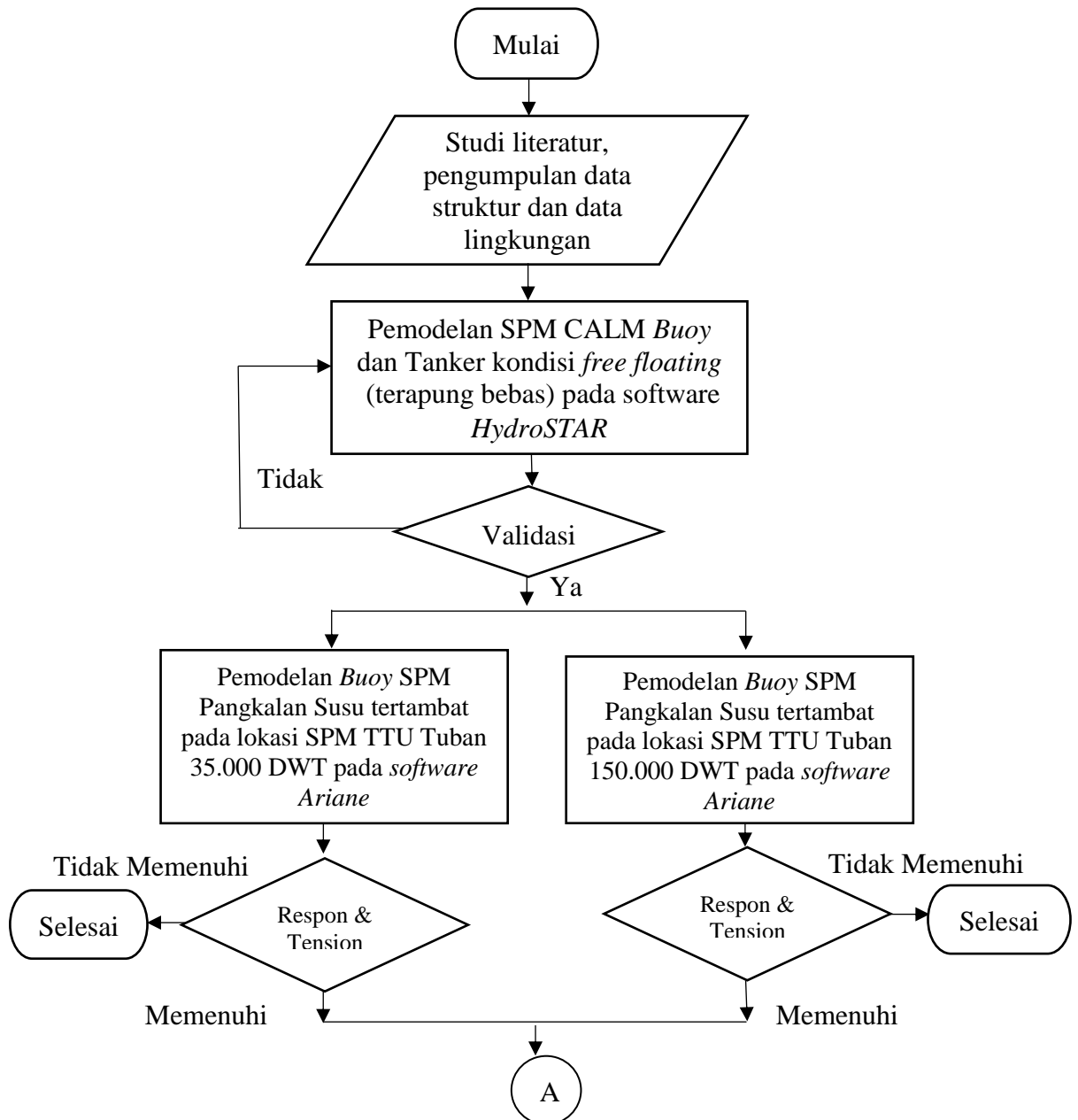
Dari kriteria *seakeeping* yang telah ditentukan, kemudian dapat dilakukan variasi variabel tertentu agar didapatkan batasan tertentu kondisi operasi yang memenuhi kriteria *seakeeping* pada sebuah sistem operasi. Selanjutnya, dilakukan perbandingan dengan data sebaran gelombang pada lokasi operasi dan kemudian diperoleh nilai operabilitas suatu sistem.

BAB III

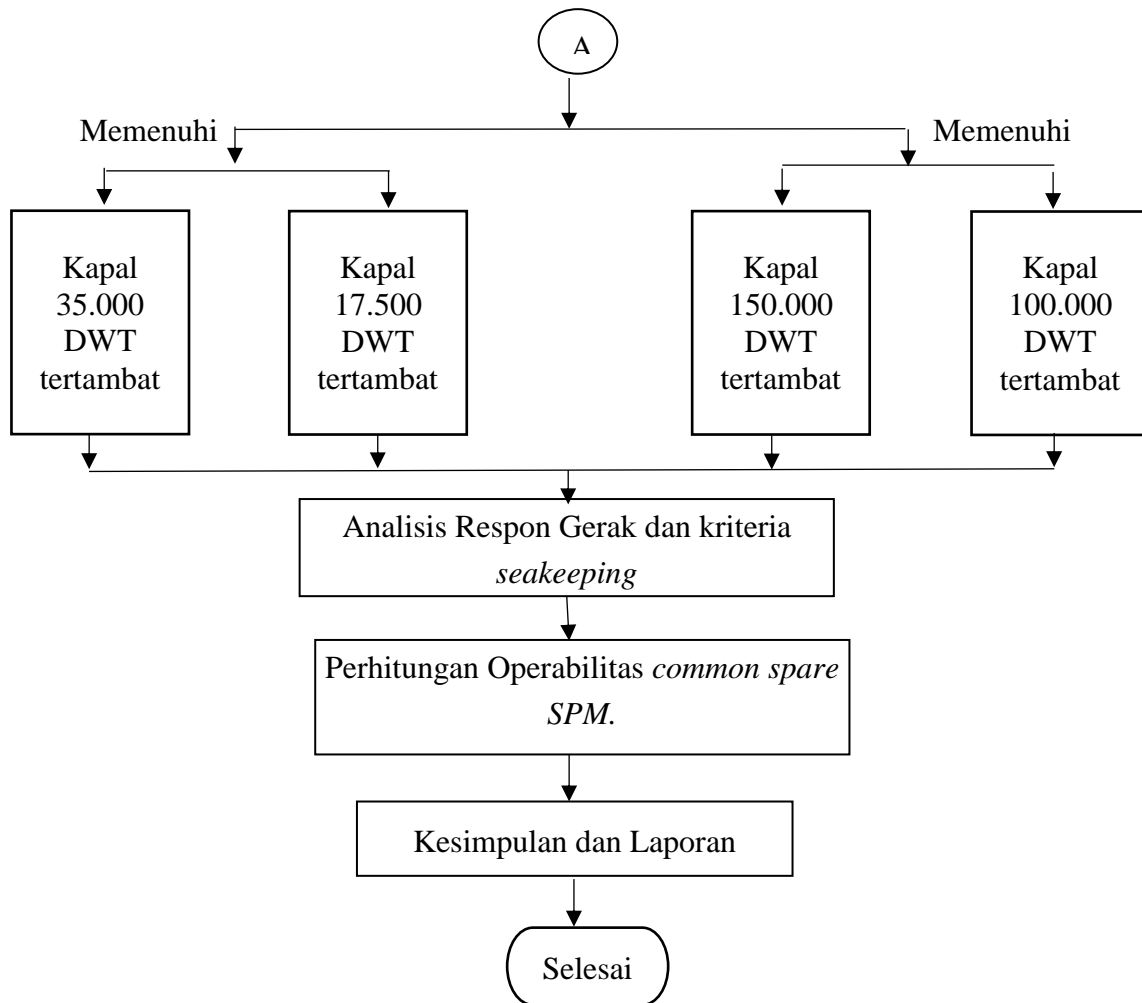
METODOLOGI PENELITIAN

1.1. Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan pada Tugas Akhir ini dapat dilihat pada diagram alir (*flow chart*) di bawah ini:



Gambar 3.1 *Flow Chart* metodologi Tugas Akhir



Gambar 3.1 Flow Chart metodologi Tugas Akhir (lanjutan)

Adapun langkah-langkah penelitian dalam diagram alir pada Metodologi Penelitian dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur dan Pengumpulan Data

Studi literatur dilakukan dengan mempelajari berbagai bahan acuan seperti jurnal, buku dan referensi lain seperti Tugas Akhir terdahulu dan artikel di internet. Studi literatur bertujuan untuk membantu dalam memahami dan menganalisa permasalahan pada penelitian ini. Selain itu juga dilakukan penelusuran literatur untuk mendapat data struktur yang akan digunakan pada analisis operabilitas. Hal penting lain pada bab ini adalah menjelaskan data lingkungan yang meliputi data gelombang, arus dan angin. Serta menentukan arah pembebanan lingkungan untuk digunakan sebagai input dalam analisis respon gerak.

2. Pemodelan Struktur

Pemodelan struktur *common spare* SPM CALM Buoy dan Tanker dalam Tugas Akhir ini dilakukan dengan bantuan *software HydroSTAR* dan *Ariane*. *Common spare* SPM CALM Buoy beserta Tanker dimodelkan berdasarkan data-data yang telah didapatkan. Akan tetapi dari hasil pemodelan tersebut harus divalidasi terlebih dahulu sebelum digunakan untuk analisis.

3. Validasi Model

Model struktur yang telah dimodelkan diperiksa kesesuaiannya dengan data struktur yang sudah ada dan sesuai dengan kriteria ABS MODU (2012). Untuk validasi model dilakukan analisis hidrostatis dengan bantuan perangkat lunak.

4. Pemodelan Buoy SPM IMODCO Tertambat pada Lokasi TTU Tuban 35.000 DWT dan 150.000 DWT

Pada tahap ini dilakukan pemodelan *common spare* SPM CALM Buoy kondisi tertambat pada kedua lokasi SPM CALM Buoy TTU Tuban dengan kapasitas 35.000 DWT dan 150.000 DWT. Konfigurasi dan *properties* tali tambat mengikuti tali tambat yang berada pada lokasi. Pemodelan menggunakan *software Ariane*.

5. Respon dan Tension pada Common Spare SPM CALM Buoy di Lokasi TTU Tuban

Setelah *common spare* SPM CALM Buoy tertambat pada lokasi TTU Tuban, selanjutnya dilakukan analisis lebih lanjut pada respon gerak dan *tension* yang terjadi. Hal ini perlu dilakukan guna melihat kemampuan tali tambat ketika harus menahan *buoy* yang tidak sesuai dengan desain awal.

Analisis ini dilakukan guna mengetahui respon gerak *common spare* SPM CALM Buoy saat kondisi tertambat pada gelombang acak. Hal ini karena pada kenyataannya di lapangan gelombang yang terjadi adalah gelombang acak. Apabila pada tahap ini SPM CALM Buoy dinyatakan tidak mampu untuk ditambat karena tali tambat tidak mampu menahan beban *buoy*, maka

analisis tidak dapat dilanjutkan untuk kondisi kapal yang tertambat pada SPM CALM *Buoy*.

6. Pemodelan Kapal Tanker Kondisi Tertambat pada *Common Spare* SPM CALM *Buoy*.

Pada tahap ini akan dilakukan pemodelan dengan kondisi kapal tanker tertambat pada *common spare* SPM CALM *Buoy*. Karena terdapat perubahan *buoy* yang digunakan, maka diperlukan variasi ukuran kapal yang tertambat.

7. Analisis Respon Gerak dan Kriteria *Seakeeping*

Setelah kapal tertambat pada *common spare* SPM CALM *Buoy*, dilakukan analisis respon gerak yang terjadi untuk masing-masing kasus. Dari respon gerak ini kemudian dapat dibandingkan dengan kriteria *seakeeping* untuk selanjutnya menentukan nilai operabilitas.

8. Perhitungan Operabilitas *Common Spare* SPM CALM *Buoy*

Pada tahap ini dilakukan perhitungan operabilitas *common spare* SPM CALM *Buoy* dengan mempertimbangkan kondisi terburuk atau kriteria ketika *common spare* SPM CALM *Buoy* dapat beroperasi dan data sebaran gelombang pada lokasi operasi yang dalam hal ini ada TTU Tuban.

1.2. Pengumpulan Data

Dalam pengerjaan tugas akhir ini data yang dibutuhkan adalah data struktur yang meliputi SPM CALM *Buoy* IMODCO PT Pertamina EP Region Sumatera, SPM CALM *Buoy* TTU Tuban 150.000 DWT, SPM CALM *Buoy* TTU Tuban 35.000 DWT, kapal tanker yang tertambat serta data lingkungan pada lokasi operasi yaitu TTU Tuban. Seluruh data yang digunakan pada tugas akhir ini didapatkan dari PT Pertamina (persero).

1.2.1. Data SPM CALM *Buoy* IMODCO 100.000 DWT

SPM IMODCO merupakan *buoy* yang telah beroperasi sejak tahun 1970. Saat ini, PT Pertamina (Persero) sedang melakukan studi dimana SPM IMODCO akan digunakan sebagai *common spare*. Data terkait SPM IMODCO ditampilkan pada tabel 3.1 hingga 3.3.

Tabel 3.1. Data struktur CALM *Buoy* IMODCO (Pertamina, 2016)

| Data Struktur | Ukuran |
|-------------------------------|---------------|
| <i>Outer Diameter</i> (m) | 15 |
| <i>Hull Depth</i> (m) | 4.03 |
| <i>Draft Install Buoy</i> (m) | 1.9 |
| Kapasitas | 100,000 DWT |

Tabel 3.2. Data *mooring line* CALM *Buoy* IMODCO (Pertamina, 2015)

| Data Struktur | Ukuran |
|-------------------------------|---------------|
| <i>Pretension Angle</i> (deg) | 55 |
| Jumlah line | 4 |

Tabel 3.3. Data *subsea hose* CALM *Buoy* IMODCO (Pertamina, 2015)

| Data Struktur | Ukuran |
|----------------------|------------------------|
| <i>Diameter</i> (in) | 12 |
| <i>Configuration</i> | <i>Chinese Lantern</i> |

1.2.2. Data SPM CALM *Buoy* TTU Tuban 150.000 DWT

Dalam tabel 3.4. – 3.7. ditunjukkan data-data pendukung dari SPM CALM *Buoy* TTU Tubn #150 yang memiliki kapasitas tambat maksimum 150.000 DWT yang beroperasi pada lokasi A dengan kedalaman perairan kurang lebih sebesar 23.5 m.

Tabel 3.4. Data struktur CALM *Buoy* TTU Tuban #150 PT. Pertamina
(Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|--------------------------------------|---------------|
| <i>Hull Diameter</i> (m) | 11 |
| <i>Hull Well Diameter</i> (m) | 3.7 |
| <i>Hull Depth</i> (m) | 4.5 |
| <i>Skirt Outside Diameter</i> (m) | 15 |

Tabel 3.5. Data *mooring line* CALM Buoy TTU Tuban #150 PT. Pertamina
(Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|------------------------------------|-----------------|
| Panjang <i>mooring line</i> (m) | 325 |
| <i>Diameter</i> (in) | 3 |
| <i>MBL</i> (pounds) | 1103000 |
| <i>Weight</i> (pounds/ft) | 86 |
| <i>Grade</i> | R3S |
| <i>Type</i> | <i>Studlink</i> |

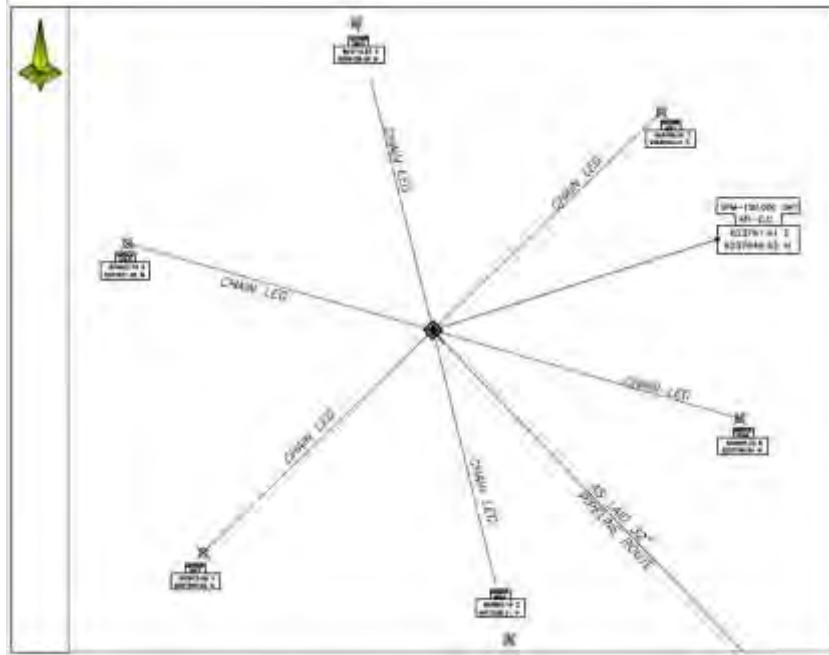
Tabel 3.6. Data *hawser* CALM Buoy TTU Tuban #150 PT. Pertamina (Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|---------------------------|---------------------------|
| Panjang <i>Hawser</i> (m) | 55 |
| <i>Diameter</i> (in) | 18 |
| <i>MBL</i> (kN) | 4395 |
| <i>Type</i> | <i>Chafe Chain Type B</i> |

Tabel 3.7. Data *subsea hose* CALM Buoy TTU Tuban #150 PT. Pertamina
(Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|----------------------------------|------------------------|
| <i>Nominal Diameter</i> (in) | 20 |
| <i>Working Pressure</i> (psi) | 225 |
| <i>Length</i> (m) | 32.004 |
| <i>Configuration</i> | <i>Chinese Lantern</i> |
| <i>Number of submarine hoses</i> | 2 |

Layout mooring line pada lokasi A TTU Tuban dimana SPM #150 beroperasi ditampilkan pada gambar 3.2.



Gambar 3.2. *Layout mooring line SPM CALM Buoy TTU Tuban #150 pada Lokasi A (Pertamina, 2009)*

1.2.3. Data SPM CALM Buoy TTU Tuban 35.000 DWT

SPM CALM Buoy lainnya yang juga beroperasi di lokasi TTU Tuban adalah SPM #035. Dalam tabel 3.8. – 3.11. ditunjukkan data-data pendukung dari SPM CALM Buoy TTU Tuban #035 yang memiliki kapasitas tambat maksimum 35.000 DWT yang beroperasi pada lokasi B dengan kedalaman perairan kurang lebih sebesar 17.5 m. SPM #035 berlokasi lebih dekat ke daratan dibandingkan dengan SPM #150.

Tabel 3.8. Data struktur CALM Buoy TTU Tuban #035 PT. Pertamina (Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|-----------------------------------|--------|
| <i>Hull Diameter (m)</i> | 11 |
| <i>Hull Well Diameter (m)</i> | 3.7 |
| <i>Hull Depth (m)</i> | 4.5 |
| <i>Skirt Outside Diameter (m)</i> | 15 |

Tabel 3.9. Data *mooring line* CALM Buoy TTU Tuban #035 PT. Pertamina
(Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|------------------------------------|-----------------|
| Panjang <i>mooring line</i> (m) | 285 |
| <i>Diameter</i> (in) | 2.5 |
| <i>MBL</i> (pounds) | 919167 |
| <i>Weight</i> (pounds/ft) | 86 |
| <i>Grade</i> | R3S |
| <i>Type</i> | <i>Studlink</i> |

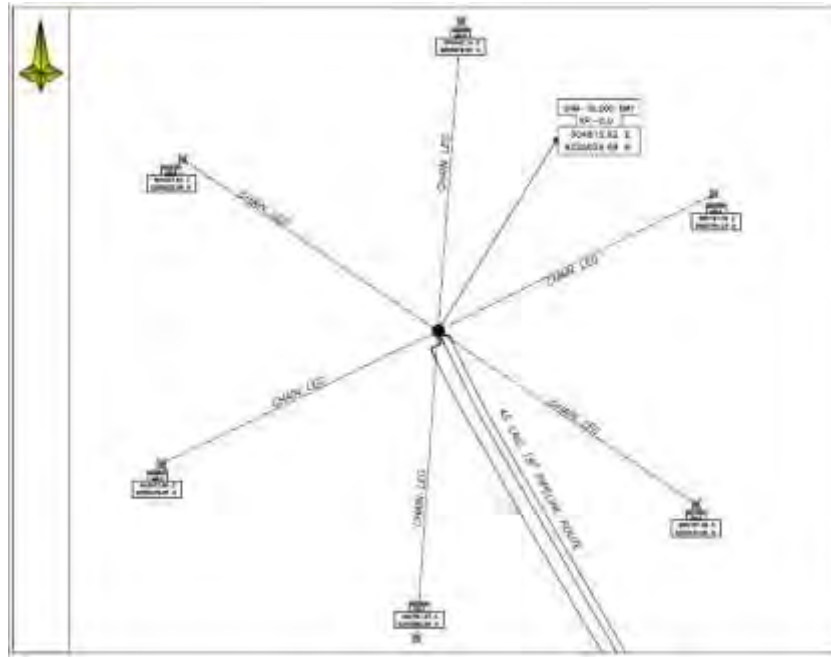
Tabel 3.10. Data *hawser* CALM Buoy TTU Tuban #035 PT. Pertamina
(Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|---------------------------|---------------------------|
| Panjang <i>Hawser</i> (m) | 55 |
| <i>Diameter</i> (in) | 12 |
| <i>MBL</i> (kN) | 4395 |
| <i>Type</i> | <i>Chafe Chain Type B</i> |

Tabel 3.11. Data *subsea hose* CALM Buoy TTU Tuban #035 PT.
Pertamina (Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|----------------------------------|------------------------|
| <i>Nominal Diameter</i> (in) | 16 |
| <i>Working Pressure</i> (psi) | 225 |
| <i>Length</i> (m) | 32.004 |
| <i>Configuration</i> | <i>Chinese Lantern</i> |
| <i>Number of submarine hoses</i> | 3 |

Layout mooring line pada lokasi B TTU Tuban dimana SPM #035 beroperasi ditampilkan pada gambar 3.3.



Gambar 3.3. *Layout mooring line SPM CALM Buoy TTU Tuban #035*
(Pertamina, 2009)

1.2.4. Data Kapal Tanker

Indonesia merupakan negara kepulauan dengan berbagai medan perairan yang berbeda. Karenanya, dalam melakukan operasi distribusi produknya ke seluruh penjuru nusantara, PT Pertamina (persero) menggunakan armada tanker baik milik maupun *charter*.

Tanker-tanker yang digunakan oleh PT Pertamina (persero) terdiri dari berbagai ukuran guna memenuhi kebutuhan yang ada. Agar dapat menjangkau lokasi-lokasi dengan perairan menengah, PT Pertamina (persero) menggunakan tanker dengan ukuran sedang sekelas *handysize* sementara tanker dengan ukuran lebih besar sekelas *afamax* hingga *suezmax* digunakan pada perairan yang lebih dalam.

TTU Tuban seperti yang sebelumnya telah disebutkan, memiliki dua (2) SPM CALM *Buoy* dengan kapasitas tambat maksimum 150.000 DWT dan 35.000 DWT. Berdasarkan kebutuhan di lapangan dan kemampuan dari SPM yang beroperasi di TTU Tuban, dalam tugas akhir ini dilakukan analisis terhadap empat (4) kapasitas kapal yang berbeda. Pada tabel 3.12 hingga 3.15 disajikan data terkait tanker yang digunakan oleh PT Pertamina dalam menjalankan operasinya.

Tabel 3.12. Data tanker 17.500 DWT menggunakan metode estimasi

| Data Struktur | Ukuran |
|---|---------------|
| <i>Length of all - L_{OA} (m)</i> | 151.297 |
| <i>Length between perpendicular - L_{PP} (m)</i> | 145 |
| <i>Breadth - B (m)</i> | 24 |
| <i>Depth - H (m)</i> | 12 |
| <i>Draft design - T (m)</i> | 8 |
| <i>Block Coefficient</i> | 0.82 |

Principal dimension untuk tanker ukuran 17.500 DWT didapatkan dengan metode estimasi yang telah dikembangkan oleh Kristensen (2012).

Tabel 3.13. Data tanker 35.000 DWT (Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|---|---------------|
| <i>Length between perpendicular - L_{PP} (m)</i> | 171 |
| <i>Breadth - B (m)</i> | 28 |
| <i>Depth - H (m)</i> | 15.4 |
| <i>Draft design - T (m)</i> | 11.7 |
| <i>Ship displacement (ton)</i> | 46775 |
| <i>Block Coefficient</i> | 0.8 |

Tabel 3.14. Data tanker 100.000 DWT (Pertamina, 2009)

| Data Struktur | Ukuran |
|---|---------------|
| <i>Length between perpendicular - L_{PP} (m)</i> | 231 |
| <i>Breadth - B (m)</i> | 42 |
| <i>Depth - H (m)</i> | 21.3 |
| <i>Draft design - T (m)</i> | 14.578 |
| <i>Ship displacement (ton)</i> | 125524 |
| <i>Block Coefficient</i> | 0.82 |

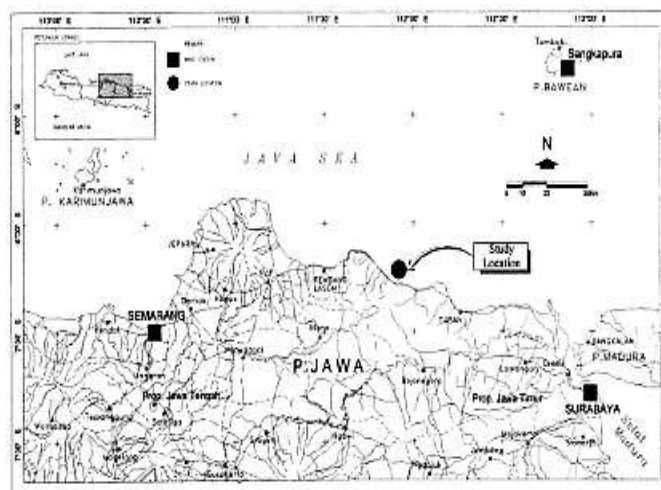
Tabel 3.15. Data tanker 150.000 DWT menggunakan metode estimasi

| Data Struktur | Ukuran |
|---|--------|
| <i>Length of all - L_{OA} (m)</i> | 272 |
| <i>Length between perpendicular – L_{PP} (m)</i> | 262 |
| <i>Breadth – B (m)</i> | 47 |
| <i>Depth – H (m)</i> | 23 |
| <i>Draft design - T (m)</i> | 17 |
| <i>Block Coefficient</i> | 0.83 |

Sama halnya dengan tanker 17.500 DWT, *principal dimension* untuk tanker ukuran 150.000 DWT didapatkan dengan metode estimasi yang telah dikembangkan oleh Kristensen (2012).

1.2.5. Data Lokasi dan Lingkungan TTU Tuban

Data lingkungan yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data dimana lokasi SPM beroperasi yaitu pada perairan lepas pantai Tuban dengan kedalaman perairan 23.5 m untuk lokasi SPM #150 (lokasi A) dan 17.5 m untuk lokasi SPM #035 (lokasi B). Peta lokasi operasi ditunjukkan dalam gambar 3.4.



Gambar 3.4. Lokasi operasi TTU Tuban

Adapun data lingkungan pada lokasi tersebut mencakup data gelombang, angin, dan arus.

a. Data Gelombang

Pada tabel 3.16. dan 3.17. ditampilkan nilai-nilai *return period* untuk gelombang yang terjadi di lokasi TTU Tuban.

Tabel 3.16. *Reccuring “all direction” maximum waves for significant wave* pada Lokasi A (IKPT, 2008)

| Wave Parameter | Unit | Return Period (Years) | | | | | |
|----------------|------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | 1 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| Hs | m | 2.480 | 3.000 | 3.340 | 3.760 | 4.080 | 4.480 |
| Ts | s | 7.531 | 8.326 | 8.811 | 9.378 | 9.791 | 10.286 |

Tabel 3.17. *Reccuring “all direction” maximum waves for significant wave* pada Lokasi B (IKPT, 2008)

| Wave Parameter | Unit | Return Period (Years) | | | | | |
|----------------|------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | 1 | 5 | 10 | 25 | 50 | 100 |
| Hs | m | 2.480 | 3.000 | 3.340 | 3.760 | 4.080 | 4.390 |
| Ts | s | 7.531 | 8.326 | 8.811 | 9.378 | 9.791 | 10.286 |

Sementara pada tabel 3.18. disajikan data distribusi tinggi gelombang dan *peak period* yang juga akan digunakan sebagai patokan dalam perhitungan nilai operabilitas dari sistem *common spare* SPM. Mengingat kedua lokasi A dan B yang masih dalam satu area dengan kondisi lingkungan yang serupa, penggunaan data pada tabel 3.18. dapat diaplikasikan untuk kedua lokasi.

Tabel 3.18. Distribusi Tinggi Gelombang dan *Peak Period* (IKPT, 2008)

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|
| | 0.0-2.0 | 2.0-4.0 | 4.0-6.0 | 6.0-8.0 | 8.0-10.0 | Total |
| 0.00 - 0.25 | 17759 | 3879 | 0 | 0 | 0 | 21638 |
| 0.25 - 0.50 | 405 | 12719 | 0 | 0 | 0 | 13124 |
| 0.50 - 0.75 | 0 | 4371 | 5398 | 0 | 0 | 9769 |
| 0.75- 1.00 | 0 | 77 | 6882 | 0 | 0 | 6959 |
| 1.00 - 1.25 | 0 | 1 | 8176 | 25 | 0 | 8202 |
| 1.25 - 1.50 | 0 | 0 | 1510 | 2731 | 0 | 4241 |
| 1.50 - 1.75 | 0 | 0 | 20 | 1711 | 0 | 1731 |
| 1.57-2.00 | 0 | 0 | 3 | 720 | 0 | 723 |
| 2.00 - 2.25 | 0 | 0 | 0 | 357 | 3 | 360 |
| 2.25 - 2.50 | 0 | 0 | 0 | 158 | 82 | 240 |
| 2.50 - 2.75 | 0 | 0 | 0 | 5 | 37 | 42 |
| 2.75 - 3.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 20 |
| 3.00 - 3.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 |
| 3.25 - 3.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| Total | 18164 | 21047 | 21989 | 5707 | 152 | 67059 |

b. Data Angin

Karena lokasi A dan B memiliki distribusi angin yang serupa, sehingga data yang ditampilkan pada tabel 3.19. berlaku untuk kedua lokasi A maupun lokasi B pada TTU Tuban.

Tabel 3.19. Recurring All Direction Wind Speed (IKPT, 2008)

| Return Period (years) | Hourly Wind Speed (m/s) | 10-minute Wind Speed (m/s) | 1-minute Wind Speed (m/s) | 3-second Gust (m/s) |
|--------------------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------|
| 1 | 12.707 | 13.469 | 14.994 | 16.900 |
| 2 | 14.703 | 15.585 | 17.349 | 19.555 |
| 10 | 16.133 | 17.101 | 19.037 | 21.457 |
| 25 | 19.595 | 20.771 | 23.122 | 26.062 |
| 50 | 22.167 | 23.496 | 26.158 | 29.483 |
| 100 | 24.714 | 26.197 | 29.162 | 32.869 |

c. Data Arus

Sementara untuk arus yang terjadi pada lokasi A dan lokasi B, terdapat sedikit perbedaan. Perlu diingat bahwa kedua lokasi memiliki kedalaman perairan yang berbeda, dimana lokasi A memiliki kedalaman sebesar 23.5 m dan lokasi B memiliki kedalaman sebesar 17.5 m. Data arus untuk kedua lokasi disajikan dalam tabel 3.20 dan 3.21.

Tabel 3.20. Current return period pada lokasi A (IKPT, 2008)

| Return Period (Years) | Directional Wind-Induced Surface Current (m/s) | | | | | | | |
|-----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| 1 | 0.113 | 0.175 | 0.345 | 0.189 | 0.055 | 0.115 | 0.267 | 0.169 |
| 5 | 0.15 | 0.225 | 0.397 | 0.263 | 0.103 | 0.132 | 0.311 | 0.208 |
| 10 | 0.172 | 0.306 | 0.431 | 0.312 | 0.141 | 0.141 | 0.34 | 0.233 |
| 25 | 0.195 | 0.369 | 0.473 | 0.377 | 0.204 | 0.151 | 0.378 | 0.264 |
| 50 | 0.211 | 0.416 | 0.504 | 0.427 | 0.265 | 0.157 | 0.407 | 0.287 |
| 100 | 0.226 | 0.462 | 0.535 | 0.479 | 0.338 | 0.162 | 0.437 | 0.31 |

Tabel 3.21. Current return period pada lokasi B (IKPT, 2008)

| Return Period (Years) | Directional Wind-Induced Surface Current (m/s) | | | | | | | |
|-----------------------|--|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | N | NE | E | SE | S | SW | W | NW |
| 1 | 0.103 | 0.193 | 0.366 | 0.194 | 0.052 | 0.115 | 0.259 | 0.163 |
| 5 | 0.136 | 0.283 | 0.432 | 0.272 | 0.096 | 0.132 | 0.302 | 0.200 |
| 10 | 0.154 | 0.340 | 0.459 | 0.323 | 0.131 | 0.140 | 0.330 | 0.224 |
| 25 | 0.175 | 0.411 | 0.505 | 0.391 | 0.190 | 0.150 | 0.367 | 0.254 |
| 50 | 0.189 | 0.465 | 0.539 | 0.443 | 0.248 | 0.156 | 0.395 | 0.276 |
| 100 | 0.202 | 0.512 | 0.572 | 0.498 | 0.317 | 0.161 | 0.424 | 0.298 |

1.2.6. Data Kondisi Operasi SPM TTU Tuban

Berdasarkan data lingkungan yang ada, maka SPM #150 dan SPM #035 memiliki spesifikasi kondisi operasi seperti yang dijabarkan pada tabel 3.22. dan 3.23.

Tabel 3.22. Desain operasi SPM #150 (Sofec, 2008)

| Parameter | Unit | 1 tahun | 25 tahun | 100 tahun |
|-------------------------|------|---------|----------|-----------|
| Wind Speed $U_{10,10}$ | m/s | 12.2 | 18.4 | 21.2 |
| Wave Height, H_s | m/s | 3.1 | 3.8 | 4.6 |
| Wave Period, T_{Hs} | s | 6.9 | 7.8 | 8.7 |
| Current Speed, V_{10} | m/s | 0.75 | 0.9 | 0.95 |

Tabel 3.23. Desain operasi SPM #035 (Sofec, 2008)

| Parameter | Unit | 1 tahun | 25 tahun | 100 tahun |
|-------------------------|------|---------|----------|-----------|
| Wind Speed $U_{10,10}$ | m/s | 12.2 | 18.4 | 21.2 |
| Wave Height, H_s | m/s | 3.1 | 3.8 | 4.6 |
| Wave Period, T_{Hs} | s | 6.9 | 7.8 | 8.7 |
| Current Speed, V_{10} | m/s | 0.75 | 0.9 | 0.95 |

Data yang ditampilkan pada tabel 3.22 dan 3.33. merupakan kondisi lingkungan maksimum dimana SPM #150 dan SPM #035 diizinkan untuk beroperasi atau tertambat tanker. Jika salah satu komponen ada yang melebihi ketentuan pada tabel 3.22. dan 3.33. maka *buoy* sudah tidak diizinkan beroperasi dan berada pada kondisi *survival*.

Pada analisis ini *common spare* diharapkan dapat beroperasi setidaknya pada kondisi yang sama dengan SPM #150 dan #035 sehingga perlu dilakukan simulasi untuk melihat kemampuan *buoy common spare* pada saat terekspose kondisi lingkungan operasi untuk SPM #150 dan SPM #035.

BAB IV

ANALISIS HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Skenario Kerja

Sebelum memulai pemodelan struktur dan analisis lebih lanjut, terlebih dahulu disusun skenario pemodelan dan pembebanan yang sekiranya dibutuhkan. Dalam penelitian tugas akhir ini, *common spare* SPM CALM Buoy akan dianalisis ketika dioperasikan di TTU Tuban yang dimana pada lokasi tersebut dioperasikan 2 (dua) SPM CALM Buoy dengan kapasitas berbeda yaitu SPM #150 dengan kapasitas 150.000 DWT dan SPM #035 dengan kapasitas 35.000 DWT. Kapasitas tanker yang ditinjau adalah 17.500 DWT, 35.000 DWT untuk SPM #035 dan 100.000 DWT dan 150.000 DWT untuk SPM #150. Berikut merupakan skenario pemodelan dan pembebanan yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir ini:

Tabel 4.1. Skenario kerja yang digunakan dalam penelitian tugas akhir

| No. | SPM | Kapal | Muatan | Posisi Tanker | Beban Lingkungan |
|-----|------|---------|------------|---------------|------------------|
| 1 | #150 | 17,500 | Full Cargo | In-line | Collinear |
| 2 | | | | Between Line | Collinear |
| 3 | | | 10% Cargo | In-line | Collinear |
| 4 | | | | Between Line | Collinear |
| 5 | | 35,000 | Full Cargo | In-line | Collinear |
| 6 | | | | Between Line | Collinear |
| 7 | | | 10% Cargo | In-line | Collinear |
| 8 | | | | Between Line | Collinear |
| 9 | #035 | 100,000 | Full Cargo | In-line | Collinear |
| 10 | | | | Between Line | Collinear |
| 11 | | | 10% Cargo | In-line | Collinear |
| 12 | | | | Between Line | Collinear |
| 13 | | 150,000 | Full Cargo | In-line | Collinear |
| 14 | | | | Between Line | Collinear |
| 15 | | | 10% Cargo | In-line | Collinear |
| 16 | | | | Between Line | Collinear |

Dari tabel 4.1. dapat dilihat bahwa akan dilakukan pemodelan terhadap 16 kasus berbeda yang kemudian nantinya akan dilakukan variasi nilai H_s untuk

mendapatkan nilai operabilitas dari *common spare* SPM CALM Buoy pada saat dioperasikan di TTU Tuban.

4.2. Pemodelan Struktur

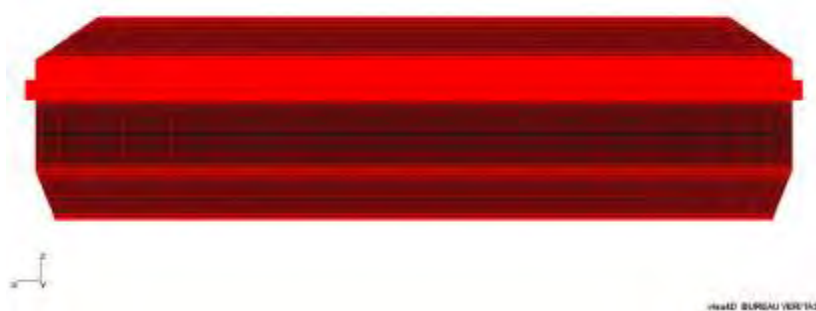
Dalam penelitian tugas akhir ini pemodelan tanker maupun *buoy* dilakukan dengan bantuan *software HydroSTAR*. Koordinat-koordinat yang dibutuhkan dalam pemodelan menggunakan *software HydroSTAR* didapatkan dari perangkat lunak kemudian koordinat tersebut dijadikan *input* dalam pemodelan dan didapatkan model dalam *software HydroSTAR* untuk masing-masing struktur tanker dan *buoy* seperti yang akan dijabarkan.

Sementara untuk validasi digunakan data yang didapatkan dari bantuan perangkat lunak sebagai referensi.

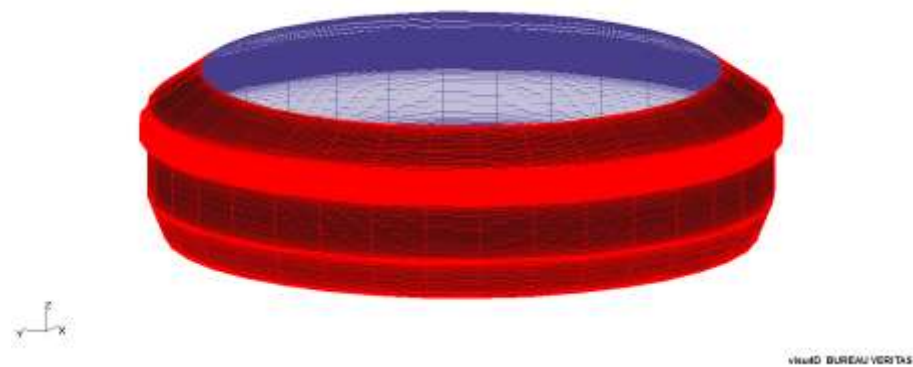
4.2.1. Pemodelan Buoy

Dalam pemodelan *buoy* menggunakan *software HydroSTAR*, dibutuhkan data-data ukuran dari *buoy* SPM IMODCO yang didapatkan dari PT Pertamina (Persero). SPM IMODCO memiliki bentuk yang cukup unik dimana tidak terdapat *outer skirt* sebagaimana *buoy* SPM yang seringkali dilihat di lapangan. Perlu diingat bahwa SPM IMODCO dibangun pada tahun 1969 dan telah mulai beroperasi pada tahun 1970.

Hasil pemodelan untuk *buoy* SPM IMODCO dengan kapasitas 100.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* ditunjukkan pada gambar 4.1. dan 4.2.



Gambar 4.1. Model *buoy* IMODCO kapasitas 100.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak depan



Gambar 4.2. Model *buoy* IMODCO kapasitas 100.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak isometri

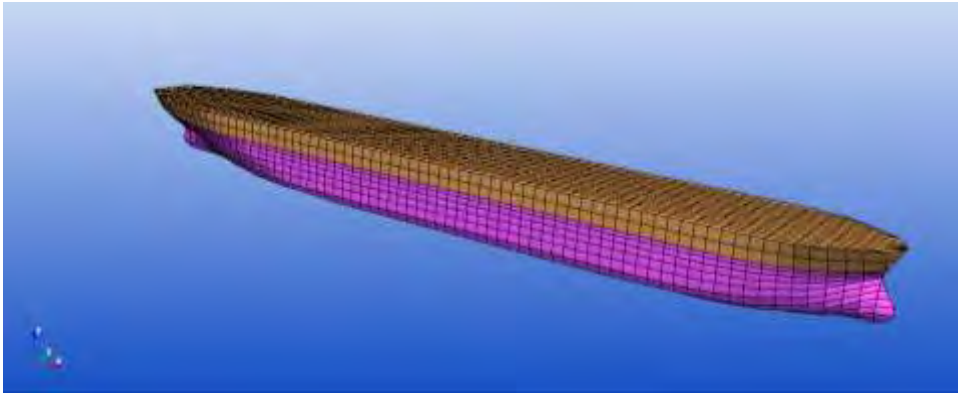
Model *buoy* menggunakan *HydroSTAR* kemudian dibandingkan dan divalidasi dengan data hidrostatis yang didapatkan dengan bantuan perangkat lunak. Kriteria validasi yang digunakan mengacu pada ketentuan pada ABS MODU (2012). Validasi pemodelan *buoy* ditunjukkan pada tabel 4.2.

Tabel 4.2. Validasi pemodelan *buoy*

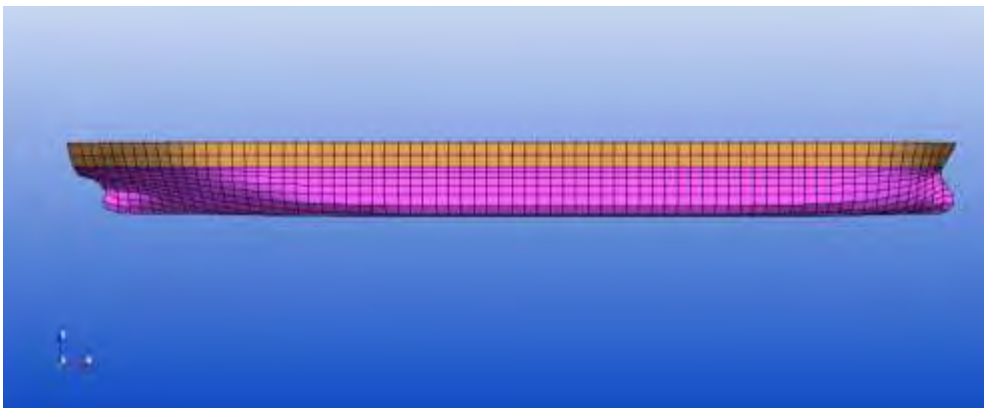
| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|-------------------------|----------------|------|-----------|-----------|----------|-------------------|-------------|
| Displacement | tonne | - | 332.9 | 333.0635 | 0.05 | 2.00 | |
| Loa | m | 15.4 | 15.4 | 15.400 | 0.00 | - | |
| Lwl | m | 15 | 15.000 | 15.000 | 0.00 | - | |
| B | m | 15 | 15.000 | 15.000 | 0.00 | - | |
| D | m | 4.03 | 4.03 | 4.030 | 0.00 | - | |
| T | m | 1.9 | 1.9 | 1.900 | 0.00 | 1.00 | |
| GMT | m | - | 6.521 | 6.504 | 0.26 | 1.00 | |
| GML | m | - | 6.530 | 6.504 | 0.40 | 1.00 | |
| WPA | m ² | - | 176.71 | 175.82 | 0.51 | 1.00 | |
| KMT | m | - | 8.529 | 8.54 | 0.10 | 1.00 | Keel |
| KML | m | - | 8.54 | 8.54 | 0.03 | 1.00 | Keel |
| BMT | m | - | 7.566 | 7.570 | 0.06 | 1.00 | |
| BML | m | - | 7.575 | 7.570 | 0.06 | 1.00 | |
| VCB | m | - | -0.935 | -0.933 | 0.23 | 1.00 | Draft |
| LCB | m | - | 0.000 | 0.000 | 0.00 | 1.00 | Center Line |
| Vol Displacement | m ³ | - | 324.791 | 324.9 | 0.05 | 2.00 | |

4.2.2. Pemodelan Tanker 17.500 DWT

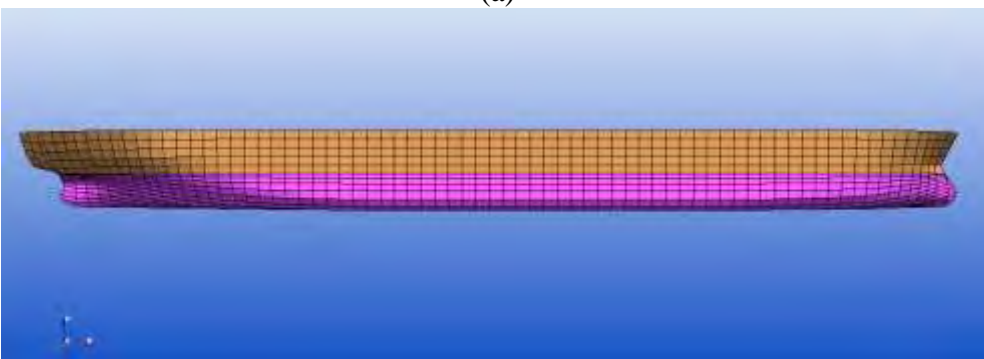
Hasil pemodelan untuk Tanker dengan kapasitas 17.500 DWT menggunakan *software HydroSTAR* pada kondisi *full cargo* dan *10% cargo* ditunjukkan pada gambar 4.3. – 4.6.



Gambar 4.3. Model Tanker kapasitas 17.500 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak isometri

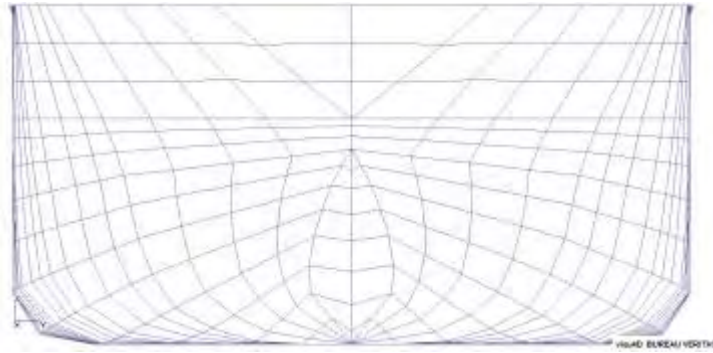


(a)

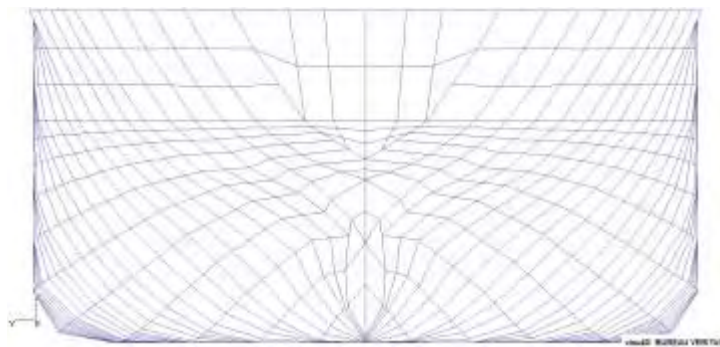


(b)

Gambar 4.4. Model Tanker kapasitas 17.500 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak melintang kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b)



Gambar 4.5. Model Tanker kapasitas 17.500 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak haluan



Gambar 4.6. Model Tanker kapasitas 17.500 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak buritan

Model tanker kapasitas 17.000 DWT menggunakan *HydroSTAR* kemudian dibandingkan dan divalidasi dengan hidrostatis yang didapatkan dengan bantuan perangkat lunak perangkat lunak. Kriteria validasi yang digunakan mengacu pada ketentuan pada ABS MODU (2012). Validasi pemodelan tanker 17.500 DWT ditunjukkan pada tabel 4.3. hingga 4.5.

Tabel 4.3. Validasi pemodelan tanker 17.500 DWT kondisi *full cargo*

| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|--------------|-------|---------|-----------|-----------|----------|-------------------|------|
| Displacement | tonne | | 24124 | 23682.625 | 1.83 | 2.00 | |
| Loa | m | 151.297 | 151.297 | 151.296 | 0.00 | - | |
| Lwl | m | 149 | 149 | 149.002 | 0.00 | - | |
| Lpp | m | 145 | 145 | 145.000 | 0.00 | - | |
| B | m | 24 | 24 | 24.000 | 0.00 | - | |
| D | m | 12 | 12 | 12.000 | 0.00 | - | |
| T | m | 8 | 8 | 8.000 | 0.00 | 1.00 | |
| GMT | m | - | 4.384 | 4.423 | 0.89 | 1.00 | |

Tabel 4.4. Validasi pemodelan tanker 17.500 DWT kondisi *full cargo* (lanjutan)

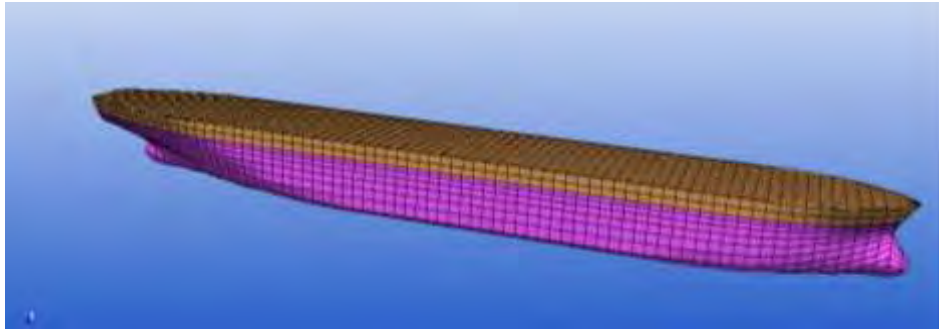
| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|------------------|----------------|------|-----------|-----------|----------|-------------------|-------|
| GML | m | - | 211.925 | 213.951 | 0.95 | 1.00 | |
| WPA | m ² | - | 3233.524 | 3210.9 | 0.70 | 1.00 | |
| KMT | m | - | 10.184 | 10.27 | 0.82 | 1.00 | Keel |
| KML | m | - | 217.725 | 219.78 | 0.93 | 1.00 | Keel |
| BMT | m | - | 6.038 | 6.085 | 0.77 | 1.00 | |
| BML | m | - | 213.58 | 215.59 | 0.93 | 1.00 | |
| VCB | m | - | -3.855 | -3.817 | 0.23 | 1.00 | Draft |
| LCB | m | - | 76.001 | 75.737 | 0.35 | 1.00 | AP |
| Vol Displacement | m ³ | - | 23536.066 | 23105.0 | 1.83 | 2.00 | |

Tabel 4.5. Validasi pemodelan tanker 17.500 DWT kondisi *10% cargo*

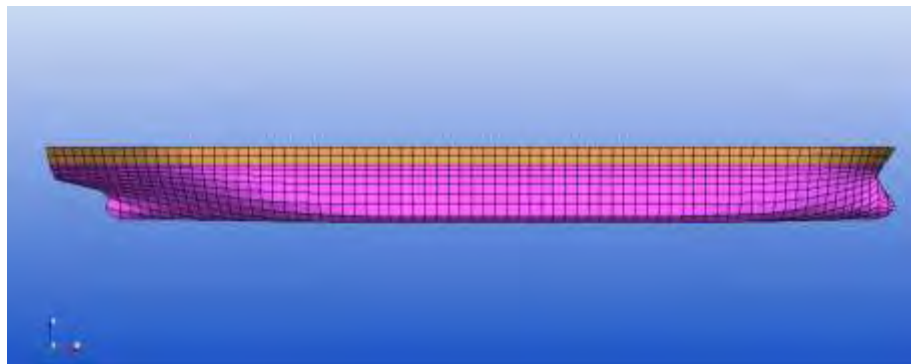
| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|------------------|----------------|----------|-----------|-----------|----------|-------------------|-------|
| Displacement | tonne | 15627.95 | 16169 | 15946.95 | 1.37 | 2.00 | |
| Loa | m | 151.297 | 151.297 | 151.297 | 0.00 | - | |
| Lwl | m | - | 145.246 | 145.96 | 0.49 | - | |
| Lpp | m | 145 | 145 | 145 | 0.00 | - | |
| B | m | 24 | 24 | 24 | 0.00 | - | |
| D | m | 12 | 12 | 12 | 0.00 | - | |
| T | m | 5.536 | 5.536 | 5.57 | 0.61 | 1.00 | |
| GMT | m | - | 5.770 | 5.811 | 0.70 | 1.00 | |
| GML | m | - | 268.010 | 270.199 | 0.81 | 1.00 | |
| WPA | m ² | - | 3055.374 | 3041.5 | 0.45 | 1.00 | |
| KMT | m | - | 11.27 | 11.36 | 0.78 | 1.00 | Keel |
| KML | m | - | 273.51 | 275.71 | 0.80 | 1.00 | Keel |
| BMT | m | - | 8.422 | 8.46 | 0.45 | 1.00 | |
| BML | m | - | 270.661 | 272.81 | 0.79 | 1.00 | |
| VCB | m | - | -2.687 | -2.671 | 0.91 | 1.00 | Draft |
| LCB | m | - | 77.383 | 77.159 | 0.29 | 1.00 | AP |
| Vol Displacement | m ³ | - | 15774.343 | 15558.0 | 1.37 | 2.00 | |

4.2.3. Pemodelan Tanker 35.000 DWT

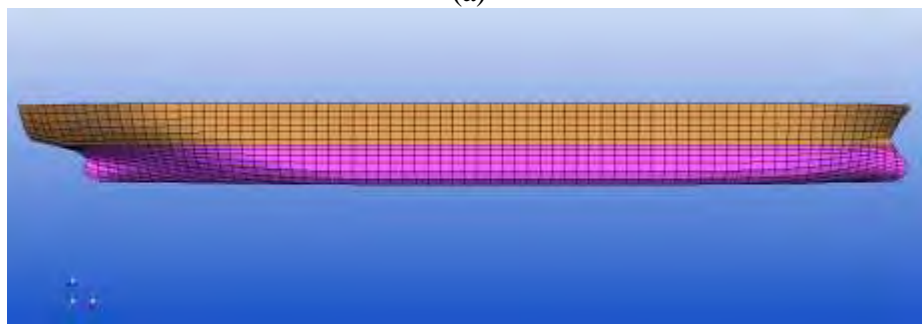
Berikut merupakan hasil pemodelan untuk Tanker dengan kapasitas 35.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* pada kondisi *full cargo* dan *10% cargo* ditunjukkan pada gambar 4.7. – 4.10.



Gambar 4.7. Model Tanker kapasitas 35.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak isometri

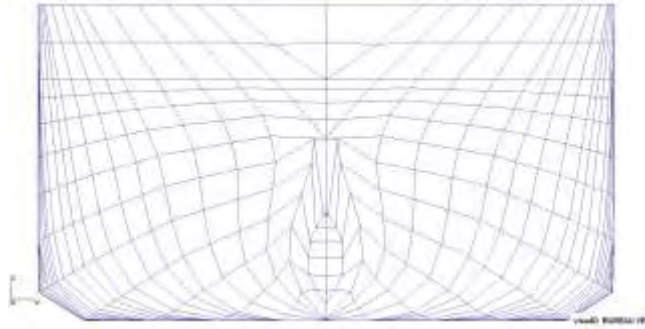


(a)

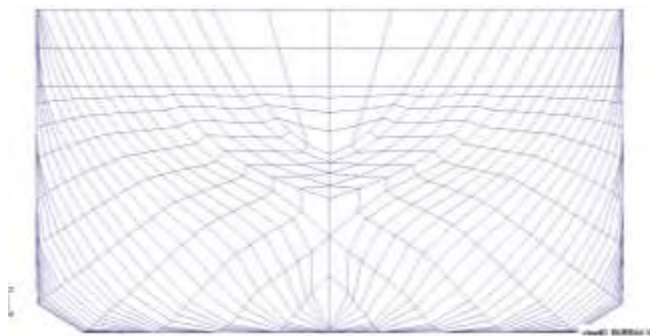


(b)

Gambar 4.8. Model Tanker kapasitas 35.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak melintang kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b)



Gambar 4.9. Model Tanker kapasitas 35.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak haluan



Gambar 4.10. Model Tanker kapasitas 35.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak buritan

Model tanker kapasitas 35.000 DWT menggunakan *HydroSTAR* kemudian dibandingkan dan divalidasi dengan data hidrostatik yang didapatkan dengan bantuan perangkat lunak. Kriteria validasi yang digunakan mengacu pada ketentuan pada ABS MODU (2012). Validasi pemodelan tanker 35.000 DWT ditunjukkan pada tabel 4.6. hingga 4.8.

Tabel 4.6. Validasi pemodelan tanker 35.000 DWT kondisi *full cargo*

| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|---------------------|-------|-------|-----------|-----------|----------|-------------------|------|
| Displacement | tonne | 46775 | 47919 | 47517.975 | 0.84 | 2.00 | |
| Loa | m | 181 | 181 | 180.665 | 0.19 | - | |
| Lwl | m | 177 | 178.351 | 178.356 | 0.00 | - | |
| Lpp | m | 171 | 171 | 171.000 | 0.00 | - | |
| B | m | 28 | 28 | 28.000 | 0.00 | - | |
| D | m | 15.4 | 15.4 | 15.400 | 0.00 | - | |
| T | m | 11.7 | 11.7 | 11.750 | 0.43 | 1.00 | |

Tabel 4.7. Validasi pemodelan tanker 35.000 DWT kondisi *full cargo* (lanjutan)

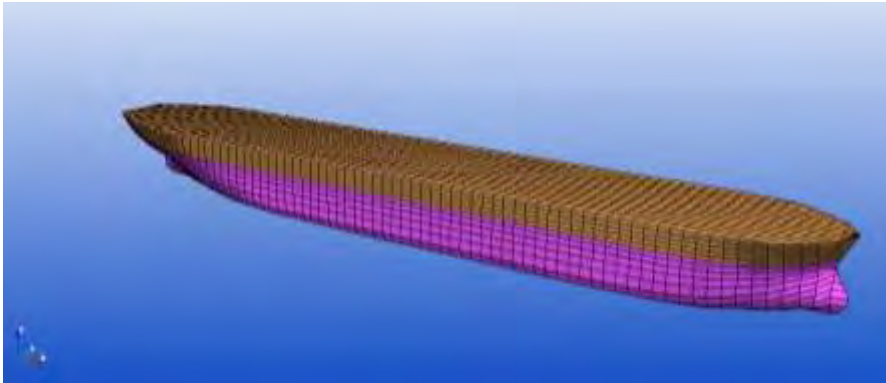
| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|------------------|----------------|------|-----------|-----------|----------|-------------------|-------|
| GMT | m | - | 4.507 | 4.525 | 0.40 | 1.00 | |
| GML | m | - | 211.471 | 213.362 | 0.89 | 1.00 | |
| WPA | m ² | - | 4490.528 | 4471.2 | 0.43 | 1.00 | |
| KMT | m | - | 11.807 | 11.88 | 0.57 | 1.00 | Keel |
| KML | m | - | 218.771 | 220.69 | 0.87 | 1.00 | Keel |
| BMT | m | - | 5.692 | 5.695 | 0.06 | 1.00 | |
| BML | m | - | 212.656 | 214.51 | 0.86 | 1.00 | |
| VCB | m | - | -5.586 | -5.57 | 0.23 | 1.00 | Draft |
| LCB | m | - | 89.131 | 88.887 | 0.27 | 1.00 | AP |
| Vol Displacement | m ³ | - | 46749.800 | 46359.0 | 0.84 | 2.00 | |

Tabel 4.8. Validasi pemodelan tanker 35.000 DWT kondisi *10% cargo*

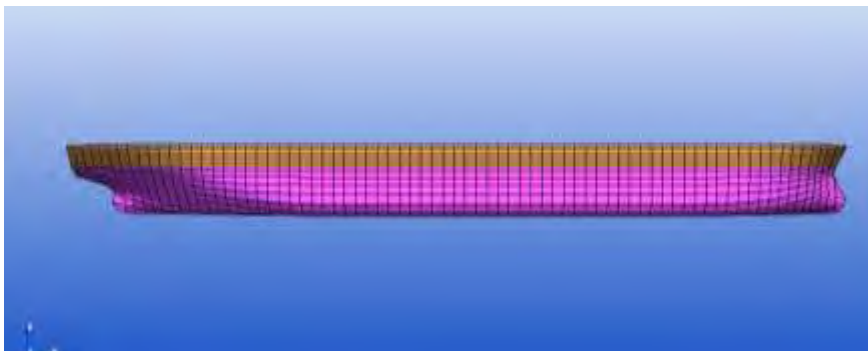
| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|------------------|----------------|----------|-----------|-----------|----------|-------------------|-------|
| Displacement | tonne | 28786.84 | 28774 | 28425.3 | 1.21 | 2.00 | |
| Loa | m | 181 | 181 | 181 | 0.00 | - | |
| Lwl | m | - | 172.529 | 172.693 | 0.09 | - | |
| Lpp | m | 171 | 171 | 171 | 0.00 | - | |
| B | m | 28 | 28 | 28 | 0.00 | - | |
| D | m | 15.4 | 15.4 | 15.4 | 0.00 | - | |
| T | m | 7.385 | 7.385 | 7.42 | 0.47 | 1.00 | |
| GMT | m | - | 5.531 | 5.560 | 0.52 | 1.00 | |
| GML | m | - | 276.167 | 278.839 | 0.96 | 1.00 | |
| WPA | m ² | - | 4130.135 | 4112.1 | 0.44 | 1.00 | |
| KMT | m | - | 12.371 | 12.45 | 0.66 | 1.00 | Keel |
| KML | m | - | 283.007 | 285.69 | 0.94 | 1.00 | Keel |
| BMT | m | - | 8.557 | 8.59 | 0.34 | 1.00 | |
| BML | m | - | 279.194 | 281.83 | 0.93 | 1.00 | |
| VCB | m | - | -3.571 | -3.553 | 0.91 | 1.00 | Draft |
| LCB | m | - | 91.644 | 91.450 | 0.21 | 1.00 | AP |
| Vol Displacement | m ³ | - | 28072.572 | 27732.0 | 1.21 | 2.00 | |

4.2.4. Pemodelan Tanker 100.000 DWT

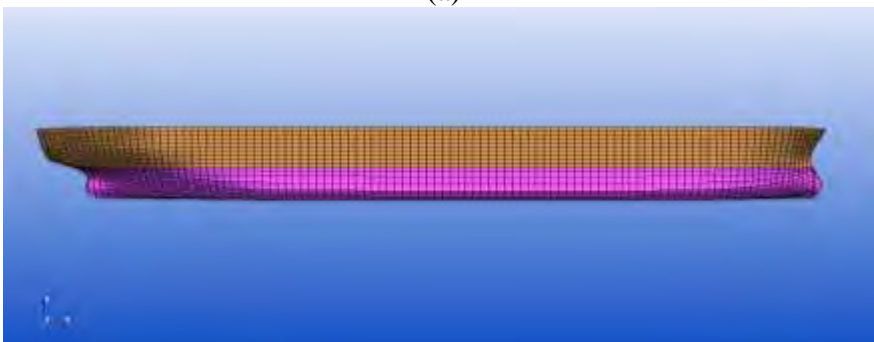
Berikut merupakan hasil pemodelan untuk Tanker dengan kapasitas 100.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* pada kondisi *full cargo* dan *10% cargo* ditunjukkan pada gambar 4.11. – 4.14.



Gambar 4.11. Model Tanker kapasitas 100.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak isometri

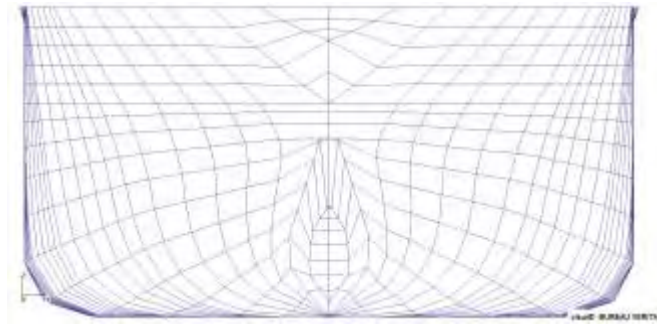


(a)

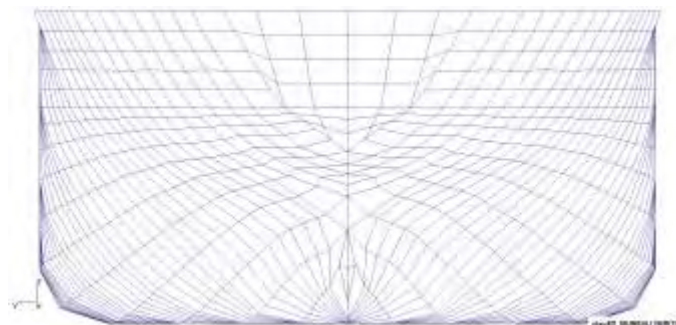


(b)

Gambar 4.12. Model Tanker kapasitas 100.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak melintang kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b)



Gambar 4.13. Model Tanker kapasitas 100.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak haluan



Gambar 4.14. Model Tanker kapasitas 100.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak buritan

Model tanker kapasitas 100.000 DWT menggunakan *HydroSTAR* kemudian dibandingkan dan divalidasi dengan data hidrostatik yang didapatkan dengan bantuan perangkat lunak. Kriteria validasi yang digunakan mengacu pada ketentuan pada ABS MODU (2012). Validasi pemodelan tanker 100.000 DWT ditunjukkan pada tabel 4.9. hingga 4.11.

Tabel 4.9. Validasi pemodelan tanker 100.000 DWT kondisi *full cargo*

| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|--------------|-------|--------|-----------|-----------|----------|-------------------|------|
| Displacement | tonne | 125524 | 124144 | 123000 | 0.92 | 2.00 | |
| Loa | m | 243.8 | 243.8 | 243.366 | 0.18 | - | |
| Lwl | m | - | 240.253 | 240.309 | 0.02 | - | |
| Lpp | m | 231 | 231 | 231.000 | 0.00 | - | |
| B | m | 42 | 42 | 42.000 | 0.00 | - | |
| D | m | 21.3 | 21.3 | 21.300 | 0.00 | - | |
| T | m | 14.578 | 14.578 | 14.700 | 0.83 | 1.00 | |
| GMT | m | - | 7.868 | 7.943 | 0.95 | 1.00 | |
| GML | m | - | 304.681 | 306.464 | 0.58 | 1.00 | |

Tabel 4.10. Validasi pemodelan tanker 100.000 DWT kondisi *full cargo*
(lanjutan)

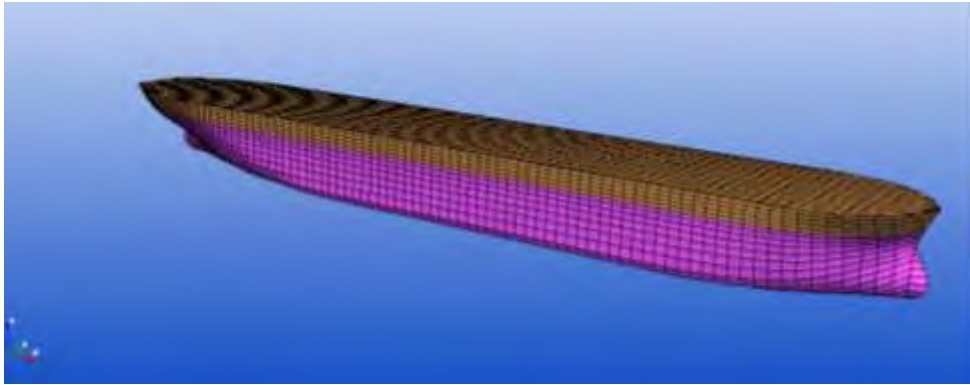
| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|-------------------------|----------------|-------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------|
| WPA | m ² | - | 9152.207 | 9105.2 | 0.51 | 1.00 | |
| KMT | m | - | 17.748 | 17.90 | 0.85 | 1.00 | Keel |
| KML | m | - | 314.561 | 316.36 | 0.57 | 1.00 | Keel |
| BMT | m | - | 10.187 | 10.20 | 0.12 | 1.00 | |
| BML | m | - | 307 | 308.66 | 0.54 | 1.00 | |
| VCB | m | - | -7.017 | -7 | 0.24 | 1.00 | Draft |
| LCB | m | - | 119.948 | 119.525 | 0.35 | 1.00 | AP |
| Vol Displacement | m ³ | - | 121116.531 | 120000.0 | 0.92 | 2.00 | |

Tabel 4.11. Validasi pemodelan tanker 100.000 DWT kondisi *10% cargo*

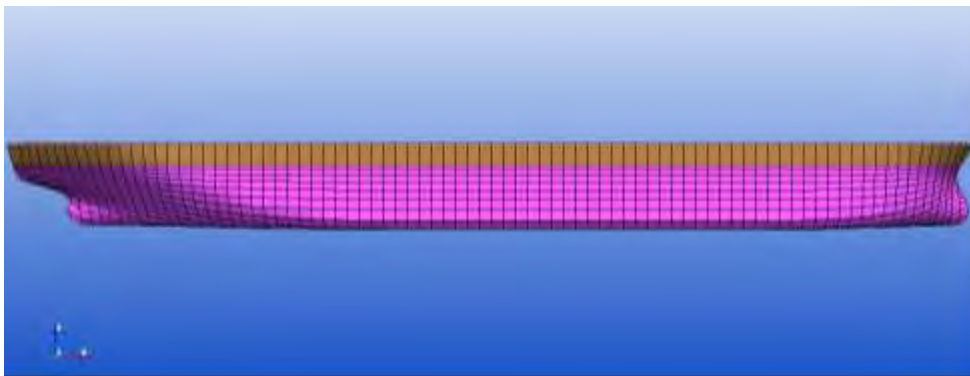
| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|-------------------------|----------------|-------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------|
| Displacement | tonne | 79399.9 | 79253 | 78053.75 | 1.51 | 2.00 | |
| Loa | m | 243.8 | 243.8 | 243.792 | 0.00 | - | |
| Lwl | m | - | 233.337 | 233.487 | 0.06 | - | |
| Lpp | m | 231.000 | 231.000 | 231.000 | 0.00 | - | |
| B | m | 42 | 42 | 42.000 | 0.00 | - | |
| D | m | 21.3 | 21.3 | 21.300 | 0.00 | - | |
| T | m | 9.652 | 9.652 | 9.7 | 0.49 | 1.00 | |
| GMT | m | - | 10.313 | 10.399 | 0.82 | 1.00 | |
| GML | m | - | 395.513 | 398.999 | 0.87 | 1.00 | |
| WPA | m ² | - | 8586.854 | 8546.1 | 0.47 | 1.00 | |
| KMT | m | - | 19.763 | 19.93 | 0.84 | 1.00 | Keel |
| KML | m | - | 404.963 | 408.47 | 0.86 | 1.00 | Keel |
| BMT | m | - | 14.797 | 14.88 | 0.57 | 1.00 | |
| BML | m | - | 399.997 | 403.42 | 0.85 | 1.00 | |
| VCB | m | - | -4.686 | -4.651 | 0.91 | 1.00 | Draft |
| LCB | m | - | 122.506 | 122.236 | 0.22 | 1.00 | AP |
| Vol Displacement | m ³ | - | 77319.609 | 76150.0 | 1.51 | 2.00 | |

4.2.5. Pemodelan Tanker 150.000 DWT

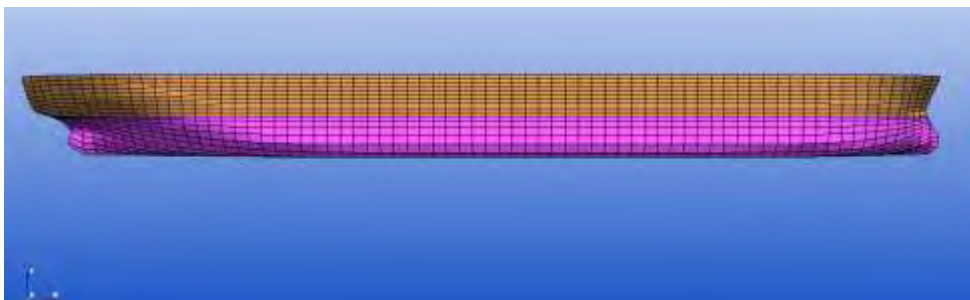
Berikut merupakan hasil pemodelan untuk Tanker dengan kapasitas 150.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* pada kondisi *full cargo* dan *10% cargo* 4.15. – 4.18.



Gambar 4.15. Model Tanker kapasitas 150.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak isometri

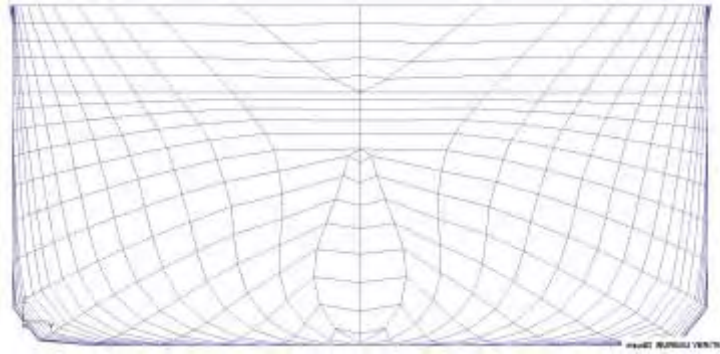


(a)

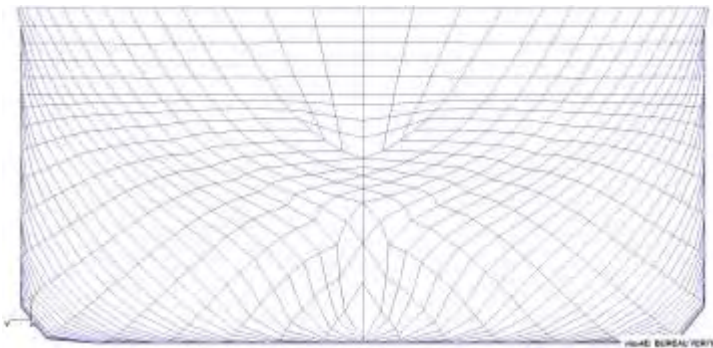


(b)

Gambar 4.16. Model Tanker kapasitas 150.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak melintang kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b)



Gambar 4.17. Model Tanker kapasitas 150.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak haluan



Gambar 4.18. Model Tanker kapasitas 150.000 DWT menggunakan *software HydroSTAR* tampak buritan

Model tanker kapasitas 150.000 DWT menggunakan *HydroSTAR* kemudian dibandingkan dan divalidasi dengan data hidrostatik yang didapatkan dengan bantuan perangkat lunak. Kriteria validasi yang digunakan mengacu pada ketentuan pada ABS MODU (2012). Validasi pemodelan tanker 150.000 DWT ditunjukkan pada tabel 4.12. hingga 4.14.

Tabel 4.12. Validasi pemodelan tanker 150.000 DWT kondisi *full cargo*

| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|--------------|-------|--------|-----------|-----------|----------|-------------------|------|
| Displacement | tonne | 125524 | 181685 | 182327 | 0.35 | 2.00 | |
| Loa | m | 272 | 272 | 271.03 | 0.36 | - | |
| Lwl | m | - | 268.9 | 268.7 | 0.07 | - | |
| Lpp | m | 262 | 262 | 262 | 0.00 | - | |
| B | m | 47 | 47 | 47 | 0.00 | - | |
| D | m | 23 | 23 | 23.000 | 0.00 | - | |
| T | m | 17 | 17 | 17 | 0.00 | 1.00 | |

Tabel 4.13. Validasi pemodelan tanker 150.000 DWT kondisi *full cargo*
(lanjutan)

| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|-------------------------|----------------|-------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------|
| GMT | m | - | 12.550 | 12.462 | 0.70 | 1.00 | |
| GML | m | - | 337.377 | 340.248 | 0.84 | 1.00 | |
| WPA | m ² | - | 11548.103 | 11553 | 0.04 | 1.00 | |
| KMT | m | - | 19.88 | 19.87 | 0.05 | 1.00 | Keel |
| KML | m | - | 344.707 | 347.50 | 0.80 | 1.00 | Keel |
| BMT | m | - | 11.039 | 11.07 | 0.28 | 1.00 | |
| BML | m | - | 335.867 | 338.70 | 0.84 | 1.00 | |
| VCB | m | - | -8.159 | -8.178 | 0.23 | 1.00 | |
| LCB | m | - | 133.634 | 133.45 | 0.14 | 1.00 | AP |
| Vol Displacement | m ³ | - | 177254.129 | 177880.0 | 0.35 | 2.00 | |

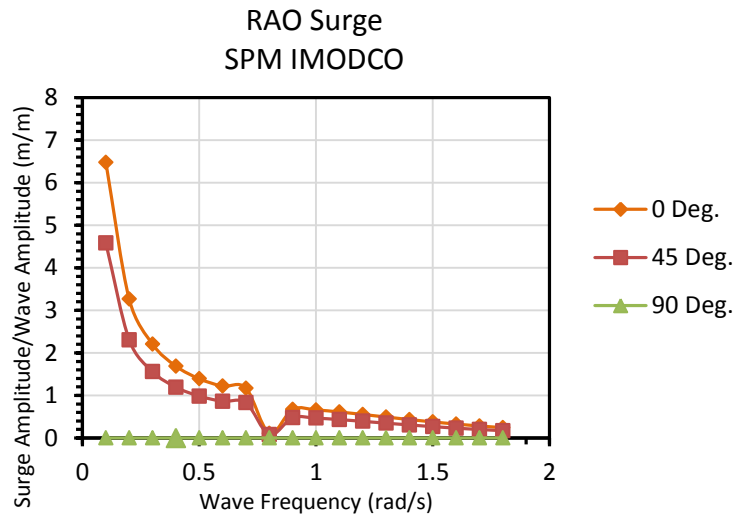
Tabel 4.14. Validasi pemodelan tanker 150.000 DWT kondisi *10% cargo*

| Data | Unit | Real | Reference | Hydrostar | Validasi | ABS Allowance (%) | From |
|-------------------------|----------------|-------------|------------------|------------------|-----------------|--------------------------|-------------|
| Displacement | tonne | - | 119788 | 118592.5 | 1.00 | 2.00 | |
| Loa | m | - | 271.68 | 271.675 | 0.00 | - | |
| Lwl | m | - | 263.725 | 264.052 | 0.12 | - | |
| Lpp | m | 262 | 262 | 262 | 0.00 | - | |
| B | m | 47 | 42 | 42 | 0.00 | - | |
| D | m | 23 | 23 | 23 | 0.00 | - | |
| T | m | 11.44 | 11.44 | 11.557 | 1.00 | 1.00 | |
| GMT | m | - | 11.537 | 11.519 | 0.15 | 1.00 | |
| GML | m | - | 433.872 | 438.274 | 1.00 | 1.00 | |
| WPA | m ² | - | 10965.655 | 10929 | 0.33 | 1.00 | |
| KMT | m | - | 21.677 | 21.80 | 0.58 | 1.00 | Keel |
| KML | m | - | 444.012 | 448.50 | 1.00 | 1.00 | Keel |
| BMT | m | - | 15.792 | 15.79 | 0.03 | 1.00 | |
| BML | m | - | 438.126 | 442.48 | 0.98 | 1.00 | |
| VCB | m | - | -5.555 | -5.541 | 0.23 | 1.00 | Draft |
| LCB | m | - | 139.61 | 139.117 | 0.35 | | AP |
| Vol Displacement | m ³ | - | 116866.692 | 115700.0 | 1.00 | 1.00 | |

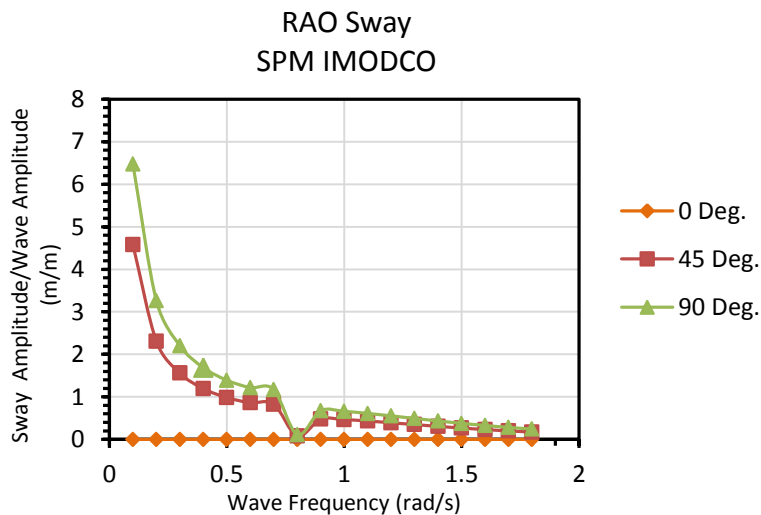
4.3. Analisis Gerakan Struktur Kondisi Terapung Bebas

4.3.1. Buoy

Karakteristik gerakan *buoy* untuk enam derajat kebebasan ditunjukkan dalam grafik RAO yang didapatkan melalui *software HydroSTAR*.



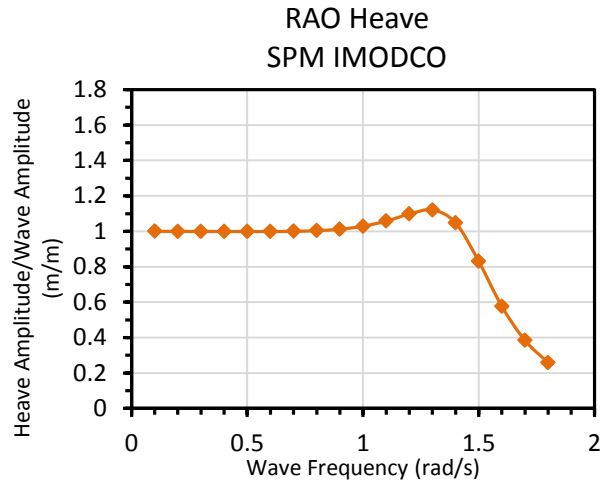
Gambar 4.19. Grafik RAO gerakan *Surge buoy* menggunakan *software HydroSTAR*



Gambar 4.20. Grafik RAO gerakan *Sway buoy* menggunakan *software HydroSTAR*

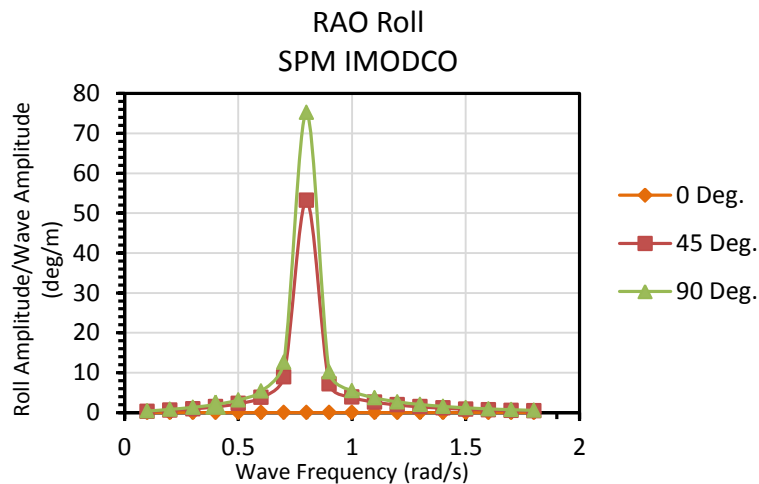
Dalam tugas akhir ini, bentuk dari *buoy* SPM IMODCO diasumsikan simetri dengan tidak memodelkan perpipaian vertical maupun *appurtenance* lainnya tidak dimodelkan. Oleh karena itu mengacu pada gambar 4.19 dan 4.20, gerakan translasional *surge* dan *sway* memiliki besaran nilai yang sama. Perbedaan yang

terjadi hanyalah arah yang menimbulkan amplitude maksimal, dimana pada gerakan *surge* yang merupakan arah gerak translasional sumbu x, sudut yang dominan adalah sudut 0° . Sementara pada gerakan *sway*, sudut arah 90° memberikan amplitude maksimal.

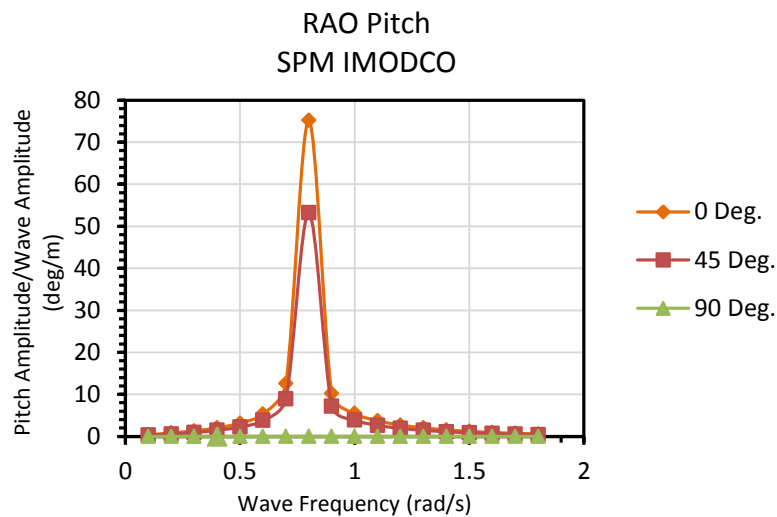


Gambar 4.21. Grafik RAO gerakan *Heave buoy* menggunakan software *HydroSTAR*

Berbeda dengan kedua gerakan translasional lainnya, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.21. gerakan translasional *heave* yang memiliki nilai tertinggi pada frekuensi gelombang sekitar 1.3 rad/s dan memiliki besaran yang sama untuk semua arah. Nilai *heave* SPM IMODCO relatif berbeda dengan *buoy* yang saat ini banyak digunakan. Hal ini dikarenakan perbedaan bentuk antara SPM IMODCO yang berbentuk agak pipih dan tidak memiliki *outer skirt*.

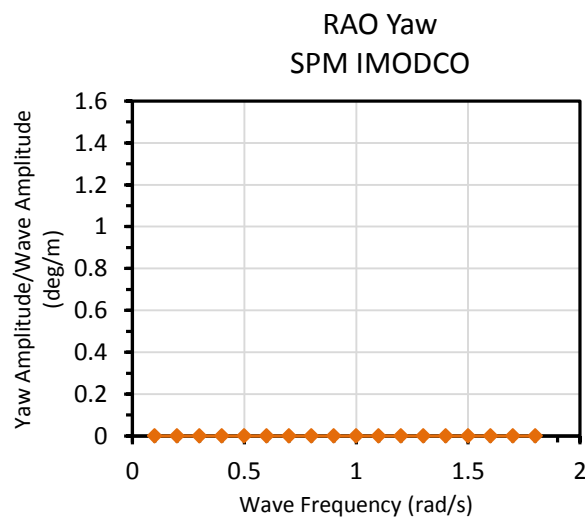


Gambar 4.22. Grafik RAO gerakan *Roll buoy* menggunakan software *HydroSTAR*



Gambar 4.23. Grafik RAO gerakan *Pitch buoy* menggunakan software *HydroSTAR*

Karena bentuknya yang merupakan silindris simetri, karakteristik gerakan rotasional pada *buoy* yaitu *roll* dan *pitch* adalah sama seperti terlihat pada gambar 4.22 dan 4.23. Perbedaan terjadi hanya pada arah yang memberikan nilai amplitude maksimum. Pada gerakan *roll* yang merupakan gerakan rotasional pada sumbu x, arah 90° memberikan efek paling maksimum, sementara pada gerakan *pitch* yang merupakan gerakan rotasional pada sumbu y, arah 0° memberikan efek paling maksimal.

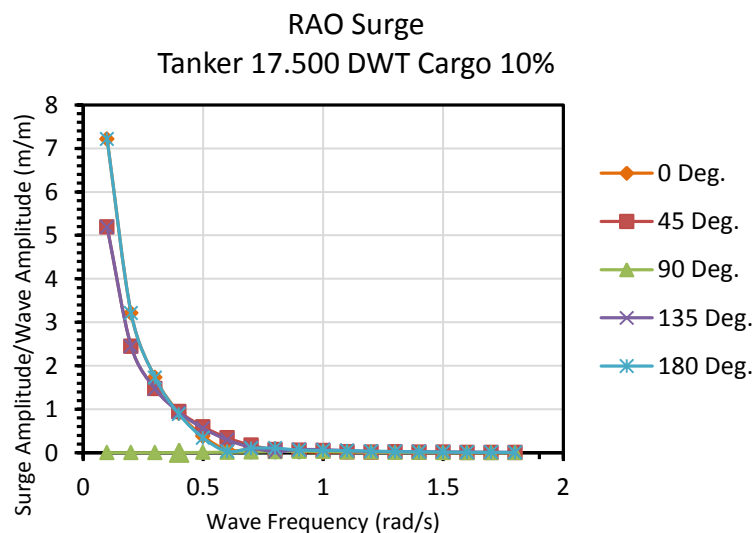
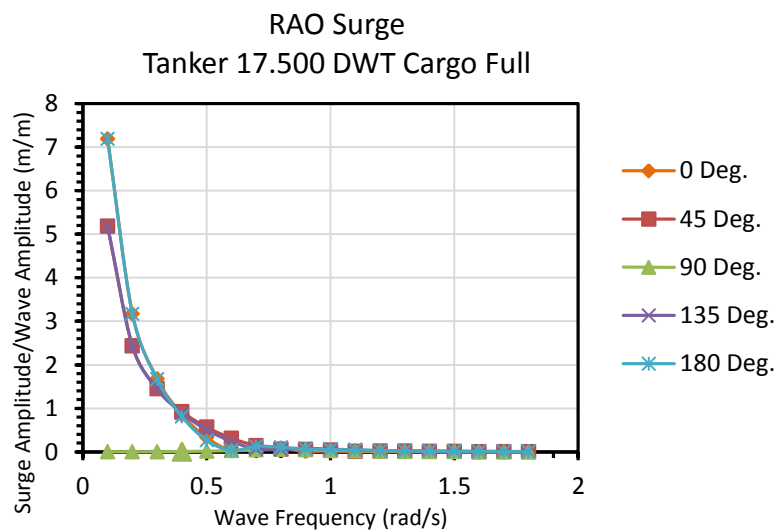


Gambar 4.24. Grafik RAO gerakan *Yaw buoy* menggunakan software *HydroSTAR*

Untuk gerakan rotasional *yaw*, terlihat pada gambar 4.24 bahwa memiliki nilai mendekati nol, serupa dengan gerakan *heave*, gerakan *yaw* juga memiliki nilai yang sama dari segala arah datang gelombang – hal ini lagi-lagi disebabkan bentuk dari *buoy* yang silindris simetri.

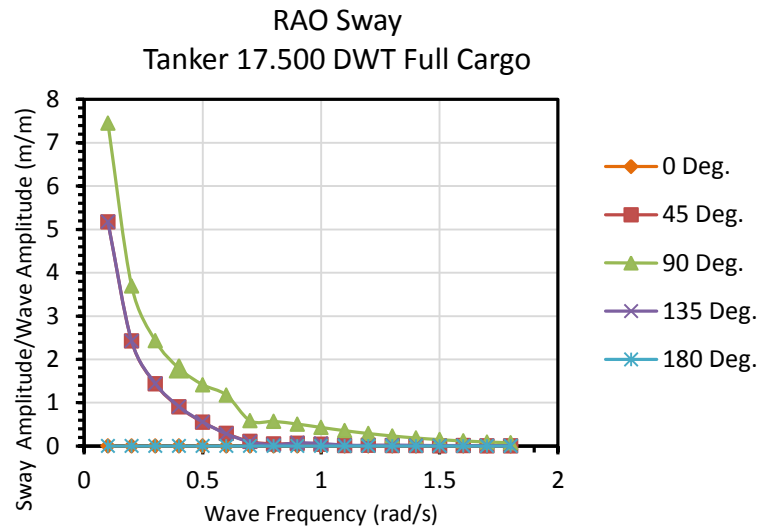
4.3.2. Tanker 17.500 DWT

Karakteristik gerakan tanker 17.500 DWT untuk enam derajat kebebasan ditunjukkan dalam grafik RAO yang didapatkan melalui bantuan *software HydroSTAR*.

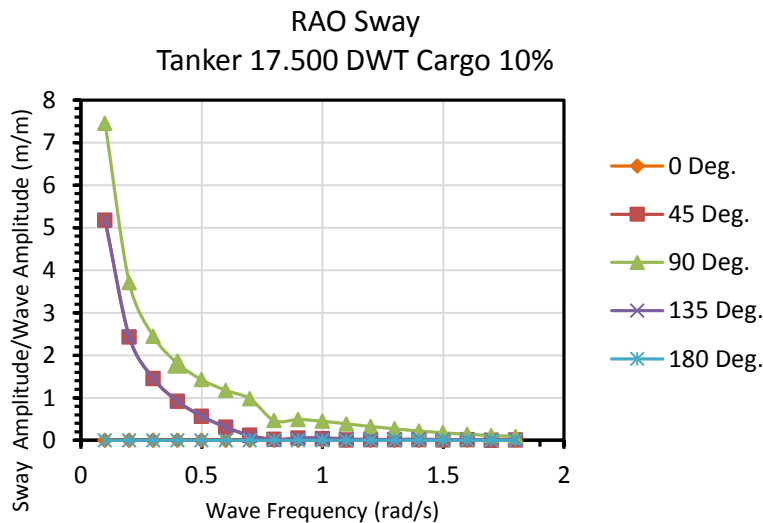


Gambar 4.25. Grafik RAO gerakan *Surge* tanker 17.500 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Dari grafik pada gambar 4.25, dapat terlihat bahwa pada gerakan *surge* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Pada gerakan ini gelombang dari arah 0° dan 180° tampak lebih dominan sementara gelombang dari arah 90° merupakan yang paling tidak dominan. Hal ini dapat dimaklumi mengingat *surge* adalah gerakan translasional pada sumbu x.



(a)

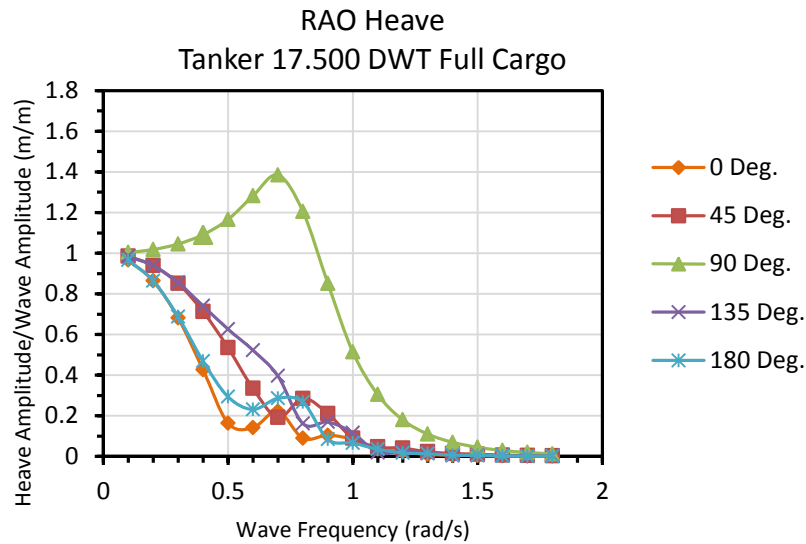


(b)

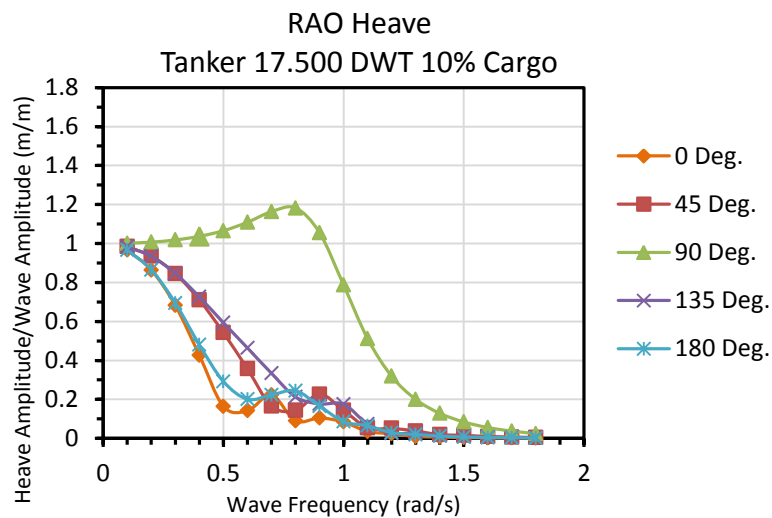
Gambar 4.26. Grafik RAO gerakan *Sway* tanker 17.500 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan software *HydroSTAR*

Dari grafik gambar 4.26, dapat terlihat bahwa pada gerakan *sway* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Pada gerakan ini gelombang dari arah 0° dan 180° tampak tidak dominan

sementara gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan – berkebalikan dengan gerakan *surge*. Hal ini dapat dimaklumi mengingat *sway* adalah gerakan translasional pada sumbu y.



(a)

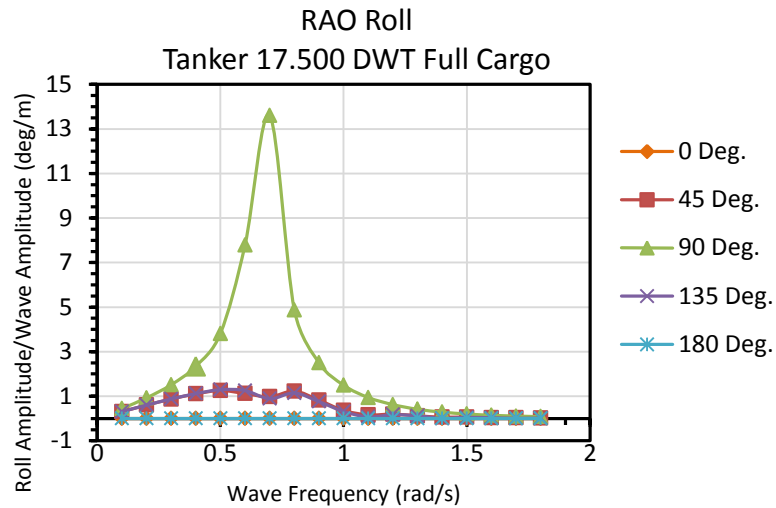


(b)

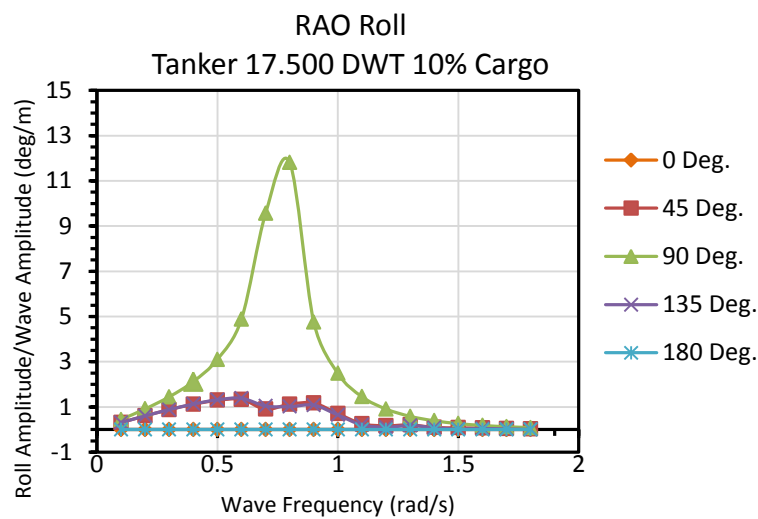
Gambar 4.27. Grafik RAO gerakan *Heave* tanker 17.500 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan software *HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.27 bahwa gerakan *heave* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup terlihat. Pada kondisi *full cargo* gerakan *heave* dapat mencapai nilai 1.39 m pada frekuensi gelombang 0.6 rad/s

sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai 1.18 m pada frekuensi gelombang 0.8 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan.



(a)

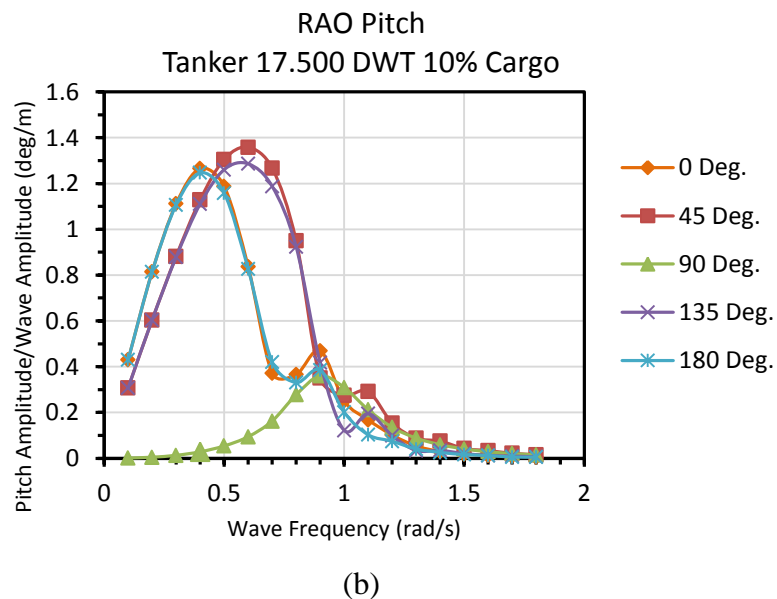
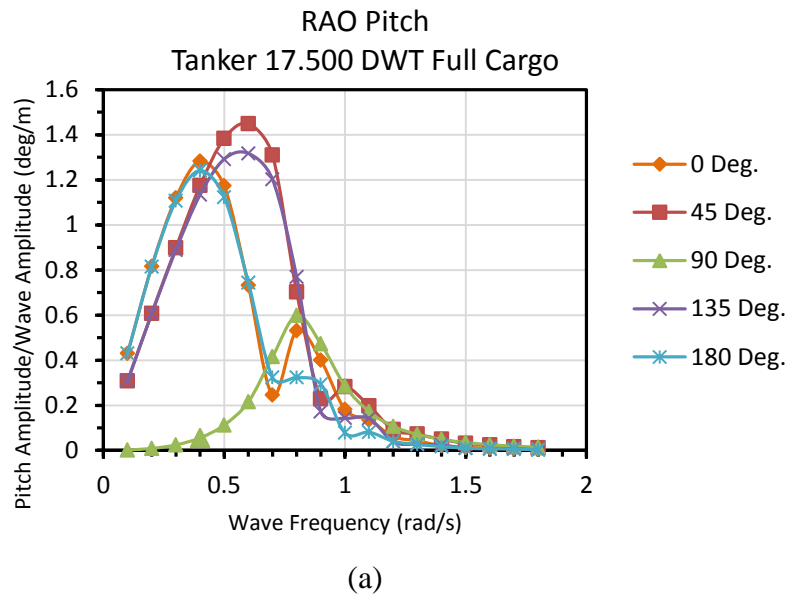


(b)

Gambar 4.28. Grafik RAO gerakan *Roll* tanker 17.500 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan software *HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.28, untuk gerakan *roll* pada kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup dapat terlihat. Pada kondisi *full cargo* gerakan *roll* dapat mencapai nilai 13.61° pada frekuensi gelombang 0.7 rad/s, sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai 11.81° pada frekuensi

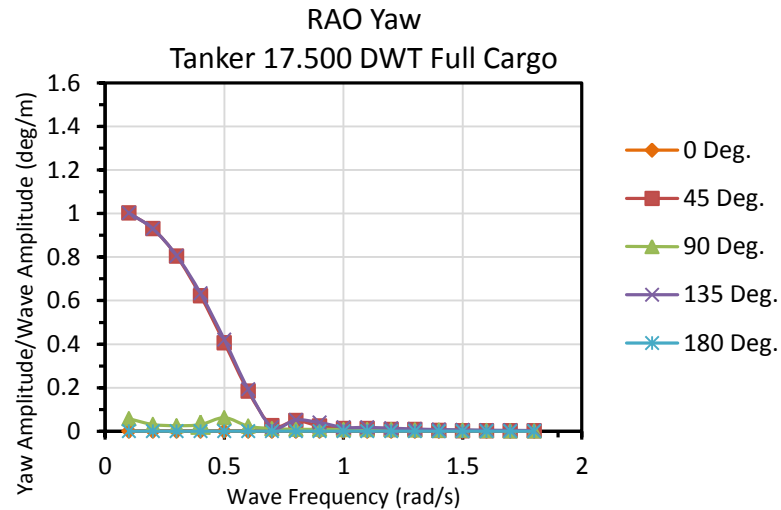
gelombang 0.8 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan.



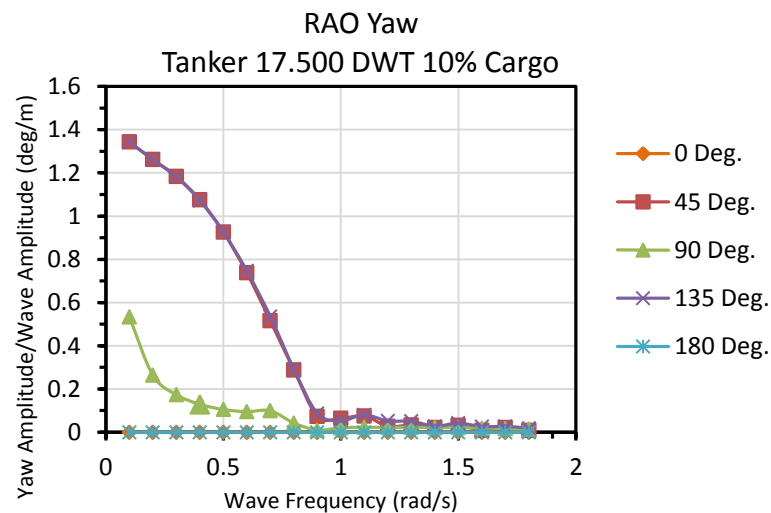
Gambar 4.29. Grafik RAO gerakan *Pitch* tanker 17.500 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan software *HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.29, sama halnya dengan gerakan *roll* dan *heave* pada gerakan *pitch* kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup dapat terlihat walaupun tidak terlalu banyak. Pada kondisi *full cargo* gerakan *pitch* dapat mencapai nilai 1.45° pada frekuensi gelombang 0.6 rad/s,

sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai 1.36° pada frekuensi gelombang 0.6 rad/s . Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 45° merupakan yang paling dominan.



(a)



(b)

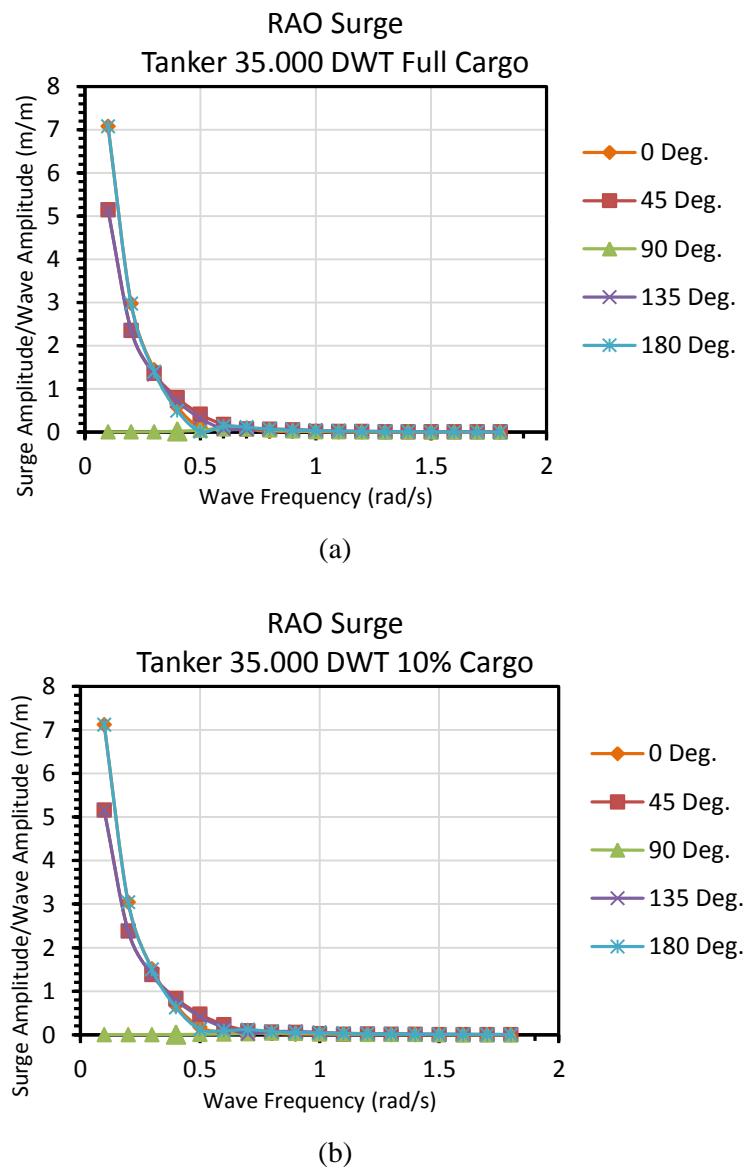
Gambar 4.30. Grafik RAO gerakan *Yaw* tanker 17.500 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.30, dapat terlihat bahwa kondisi *full cargo* memiliki gerakan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan *10% cargo*. Pada kondisi *full cargo* gerakan *yaw* dapat mencapai nilai 1.00° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* mencapai nilai 1.34° pada

frekuensi gelombang 0.1 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 45° dan 135° merupakan yang paling dominan.

4.3.3. Tanker 35.000 DWT

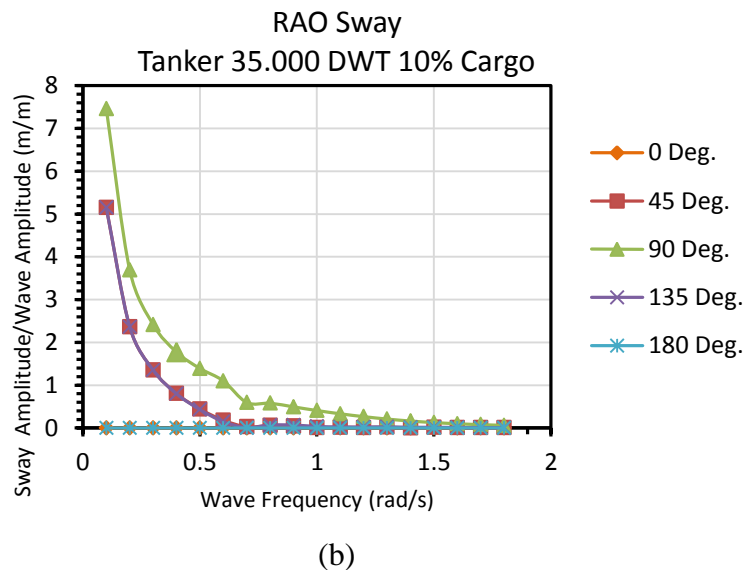
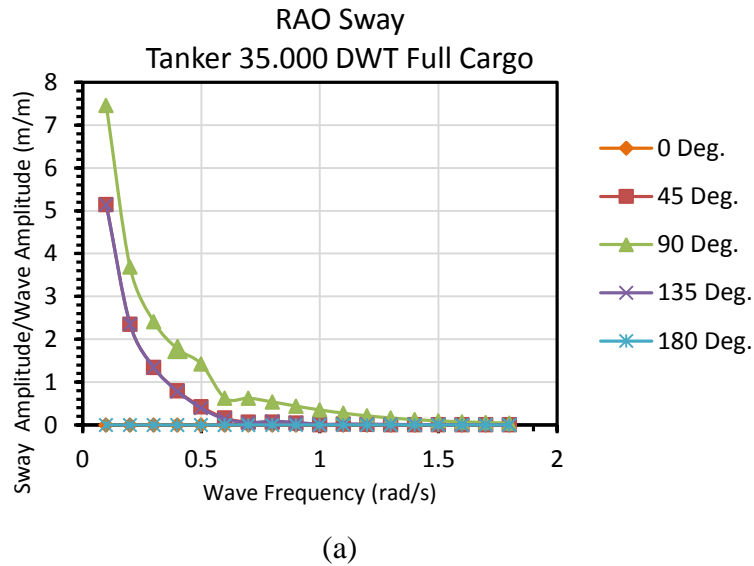
Karakteristik gerakan tanker 35.000 DWT untuk enam derajat kebebasan ditunjukkan dalam grafik RAO yang didapatkan melalui bantuan *software HydroSTAR*.



Gambar 4.31. Grafik RAO gerakan *Surge* tanker 35.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Dari grafik gambar 4.31, dapat terlihat bahwa pada gerakan *surge* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Pada

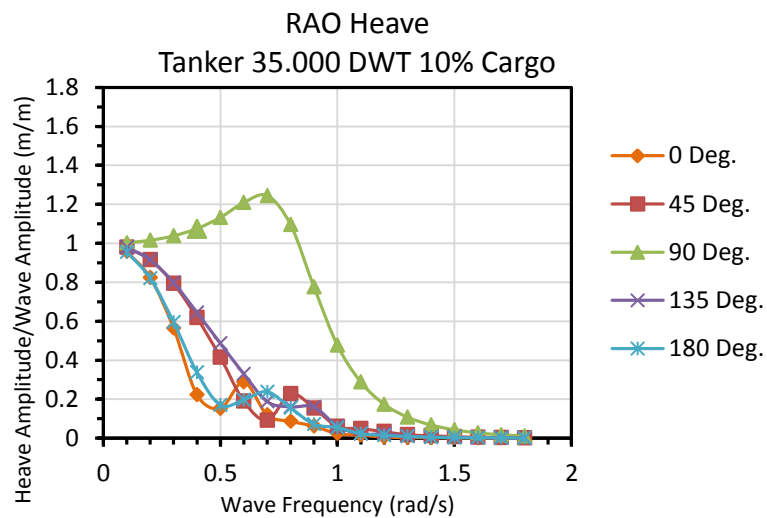
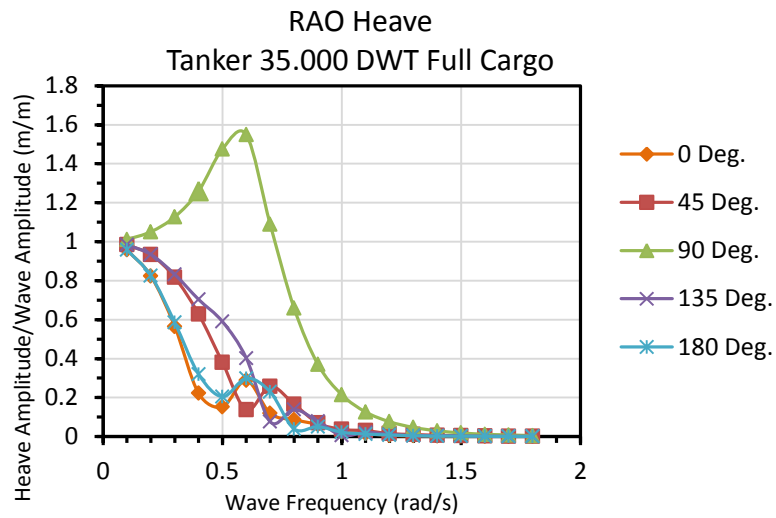
gerakan ini gelombang dari arah 0° dan 180° tampak lebih dominan sementara gelombang dari arah 90° merupakan yang paling tidak dominan. Hal ini dapat dimaklumi mengingat *surge* adalah gerakan translasional pada sumbu x.



Gambar 4.32. Grafik RAO gerakan *Sway* tanker 35.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Dari grafik pada gambar 4.32, dapat terlihat bahwa pada gerakan *sway* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Pada gerakan ini gelombang dari arah 0° dan 180° tampak tidak dominan sementara gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan –

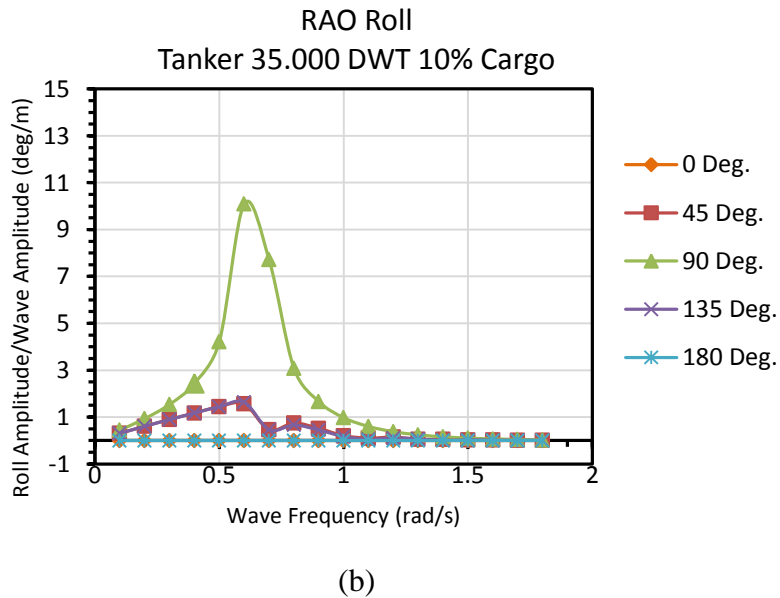
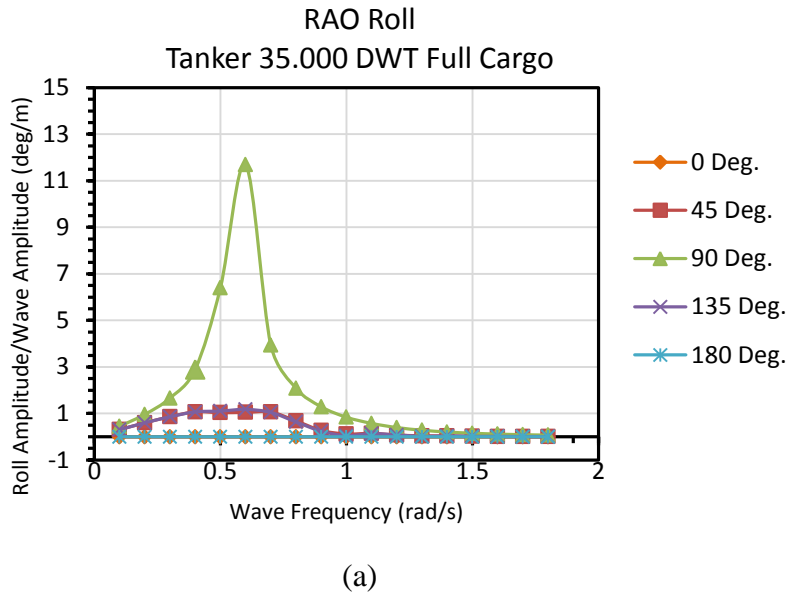
berkebalikan dengan gerakan *surge*. Hal ini dapat dimaklumi mengingat *sway* adalah gerakan translasional pada sumbu *y*.



Gambar 4.33. Grafik RAO gerakan *Heave* tanker 35.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.33, berbeda dengan gerakan translasional lainnya, gerakan *heave* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup terlihat. Pada kondisi *full cargo* gerakan *heave* dapat mencapai nilai 1.55 m pada frekuensi gelombang 0.6 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* hanya

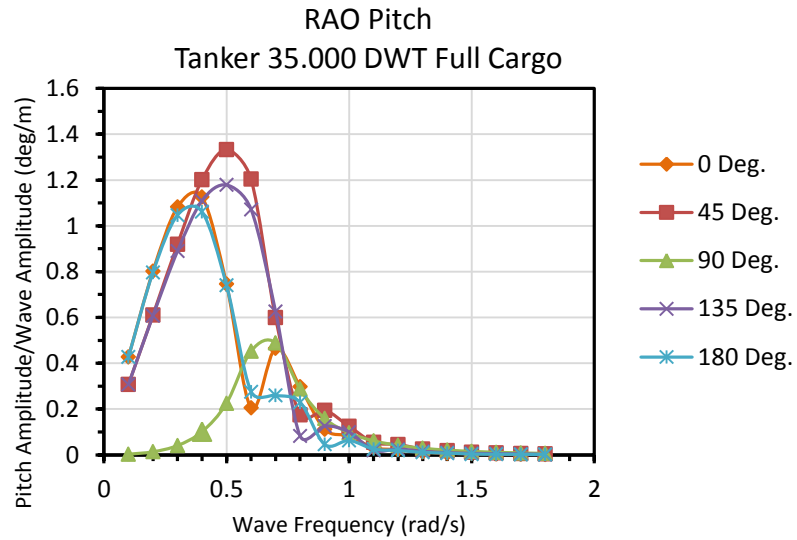
mencapai nilai 1.24 m pada frekuensi gelombang 0.7 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan.



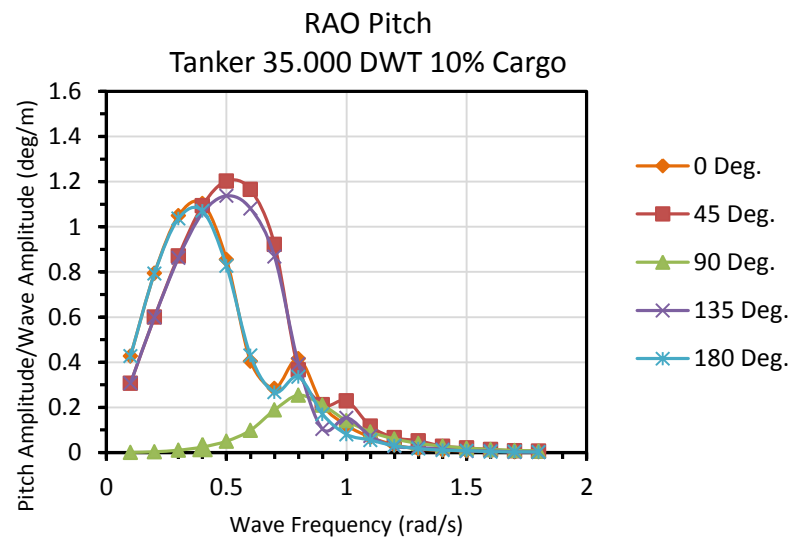
Gambar 4.34. Grafik RAO gerakan *Roll* tanker 35.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.34 dapat terlihat bahwa untuk gerakan *roll* pada kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup dapat terlihat. Pada kondisi *full cargo* gerakan *roll* dapat mencapai nilai 11.69° pada frekuensi gelombang 0.6 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai

10.1° pada frekuensi gelombang 0.6 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan.



(a)

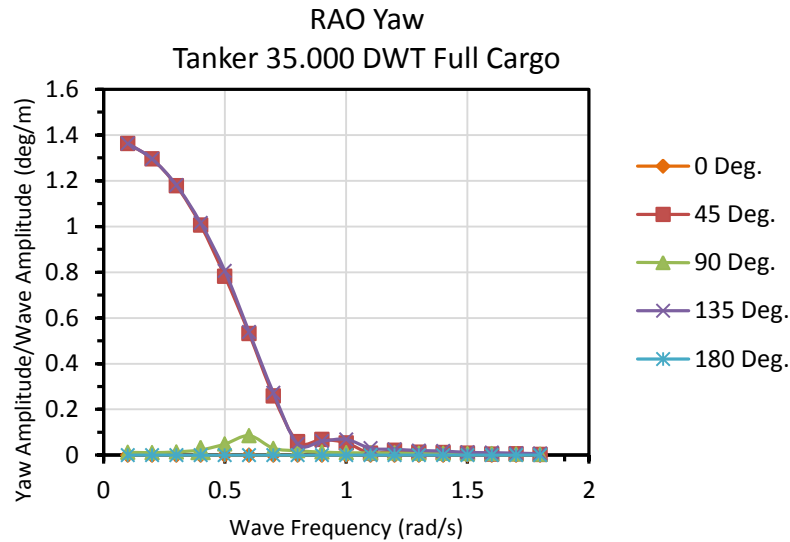


(b)

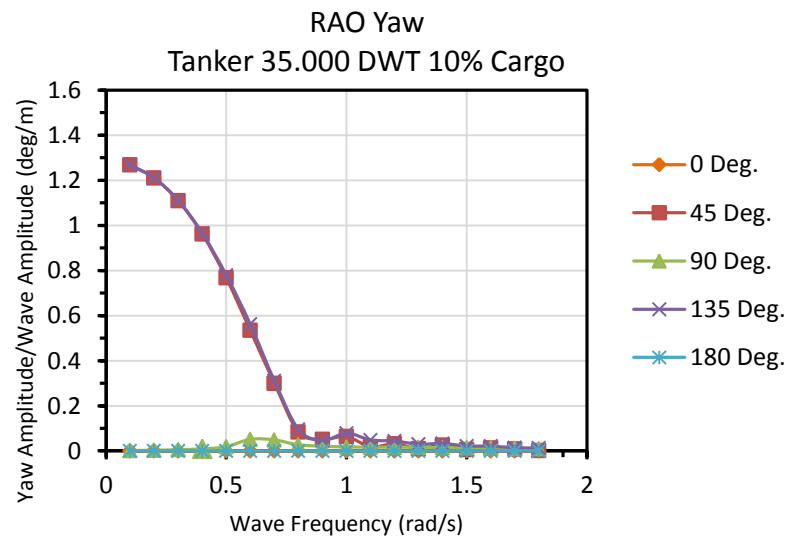
Gambar 4.35. Grafik RAO gerakan *Pitch* tanker 35.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Sama halnya dengan gerakan *roll* dan *heave*, terlihat dari gambar 4.35 bahwa pada gerakan *pitch* kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup dapat terlihat. Pada kondisi *full cargo* gerakan *pitch* dapat mencapai

nilai 1.33° pada frekuensi gelombang 0.5 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai 1.2° pada frekuensi gelombang 0.5 rad/s . Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 45° merupakan yang paling dominan.



(a)



(b)

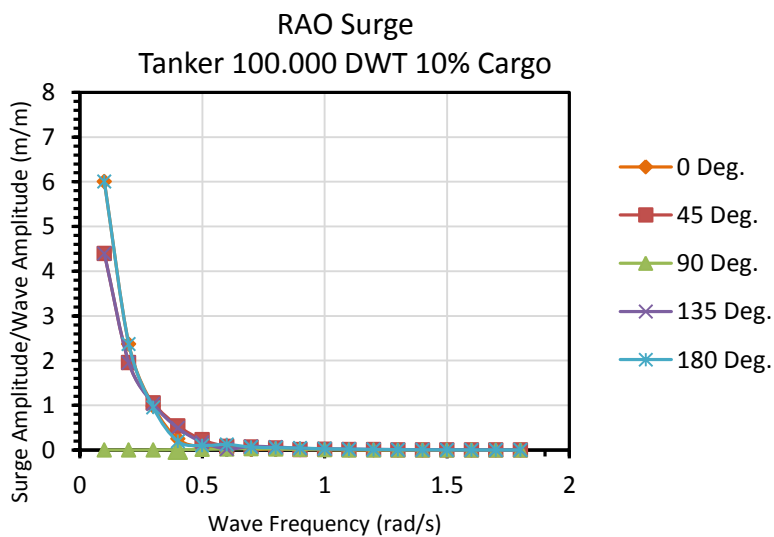
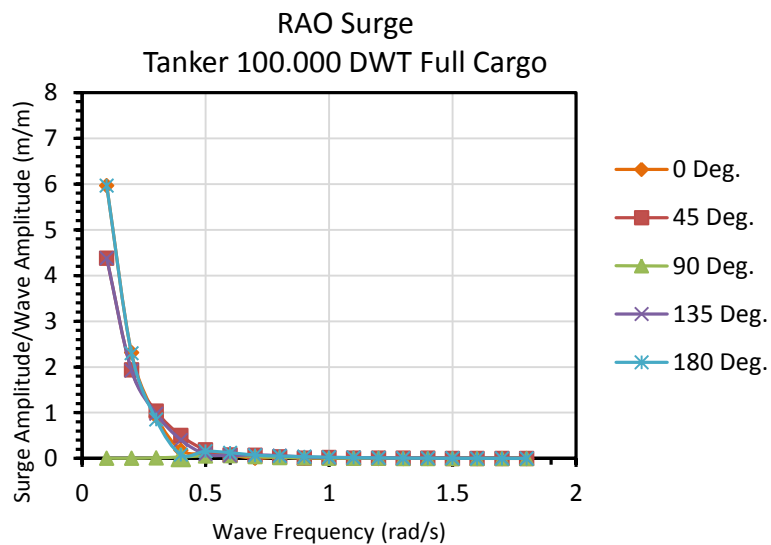
Gambar 4.36. Grafik RAO gerakan *Yaw* tanker 35.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Sama halnya dengan gerakan rotasional lainnya, mengacu pada gambar 4.36 gerakan *yaw* kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup dapat terlihat. Pada kondisi *full cargo* gerakan *yaw* dapat mencapai nilai 1.36° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* hanya

mencapai nilai 1.27° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/s . Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 45° dan 135° merupakan yang paling dominan.

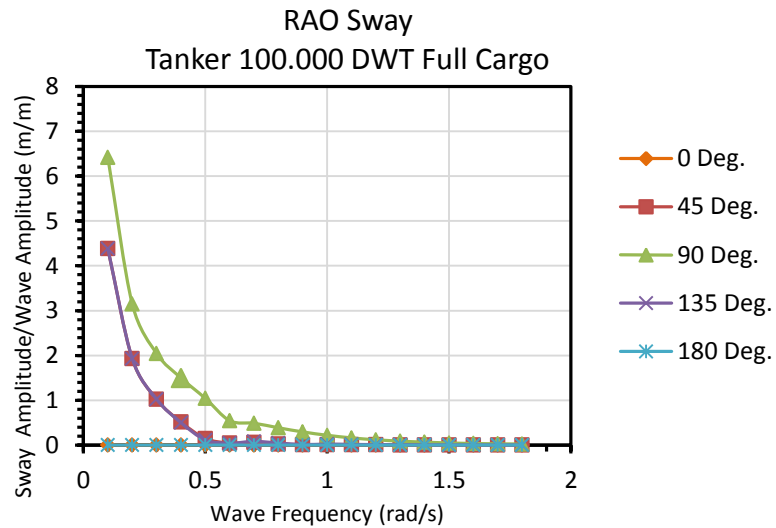
4.3.4. Tanker 100.000 DWT

Karakteristik gerakan tanker 100.000 DWT untuk enam derajat kebebasan ditunjukkan dalam grafik RAO yang didapatkan melalui bantuan *software HydroSTAR*.

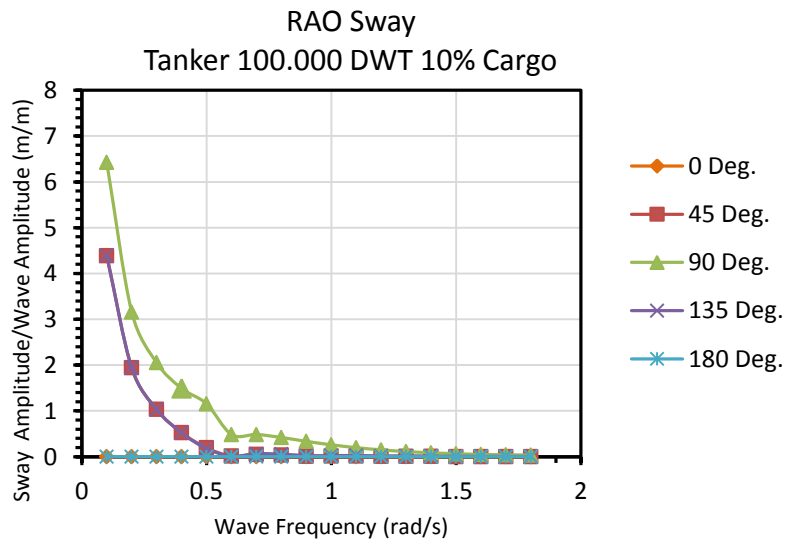


Gambar 4.37. Grafik RAO gerakan *Surge* tanker 100.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Dari grafik gambar 4.37, dapat terlihat bahwa pada gerakan *surge* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Pada gerakan ini gelombang dari arah 0° dan 180° tampak lebih dominan sementara gelombang dari arah 90° merupakan yang paling tidak dominan. Hal ini dapat dimaklumi mengingat *surge* adalah gerakan translasional pada sumbu x.



(a)

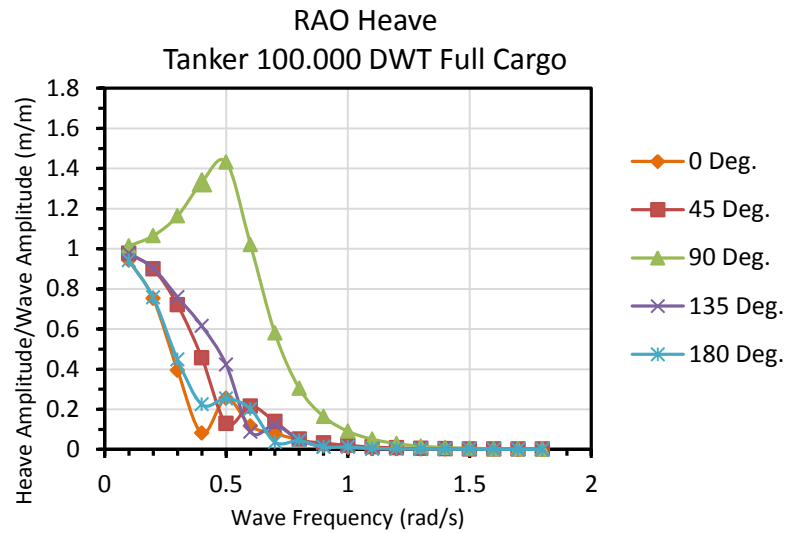


(b)

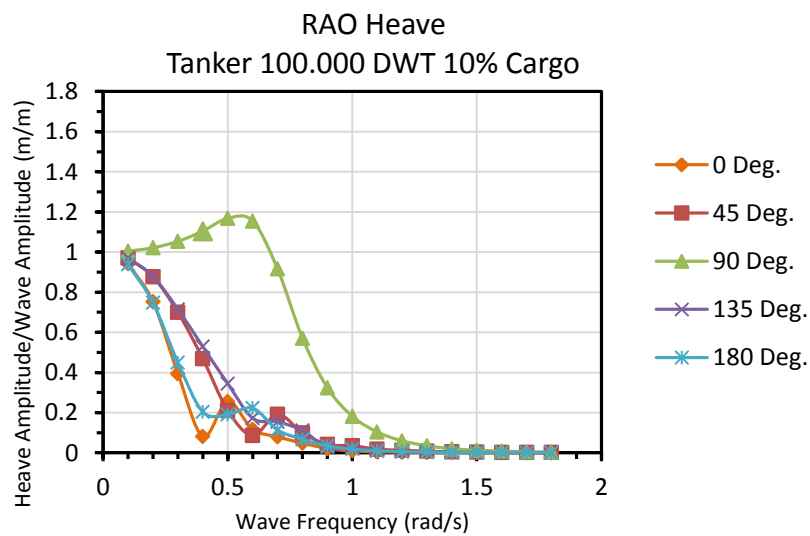
Gambar 4.38. Grafik RAO gerakan Sway tanker 100.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Dari grafik gambar 4.38, dapat terlihat bahwa pada gerakan *sway* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan.

Pada gerakan ini gelombang dari arah 0° dan 180° tampak tidak dominan sementara gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan – berkebalikan dengan gerakan *surge*. Hal ini dapat dimaklumi mengingat *sway* adalah gerakan translasional pada sumbu y.



(a)

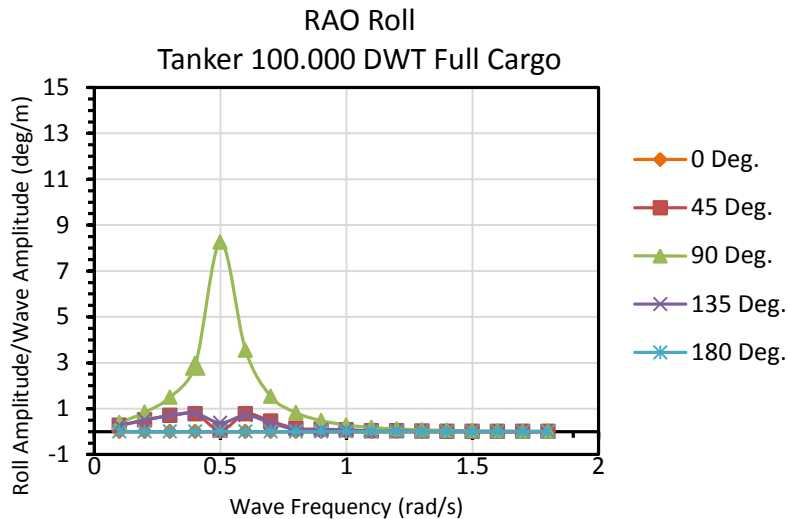


(b)

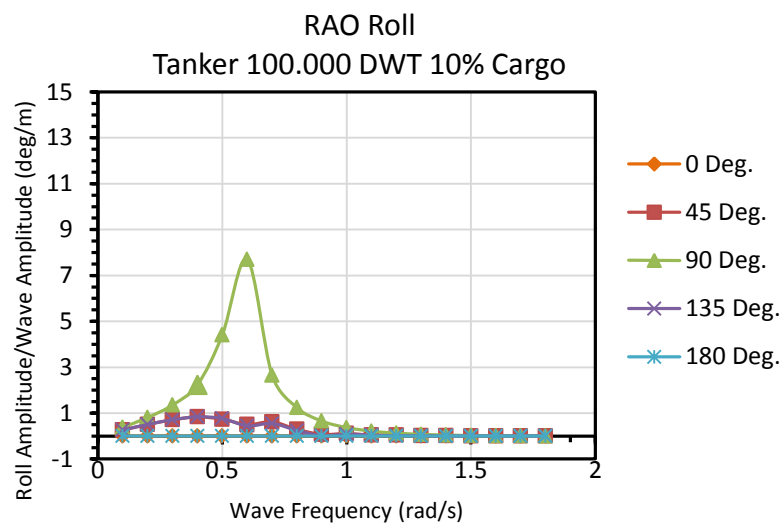
Gambar 4.39. Grafik RAO gerakan *Heave* tanker 100.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.39 gerakan *heave* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup terlihat. Pada kondisi *full cargo* gerakan *heave* dapat mencapai nilai 1.43 m pada frekuensi gelombang 0.5 rad/s

sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai 1.17 m pada frekuensi gelombang 0.5 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan.



(a)

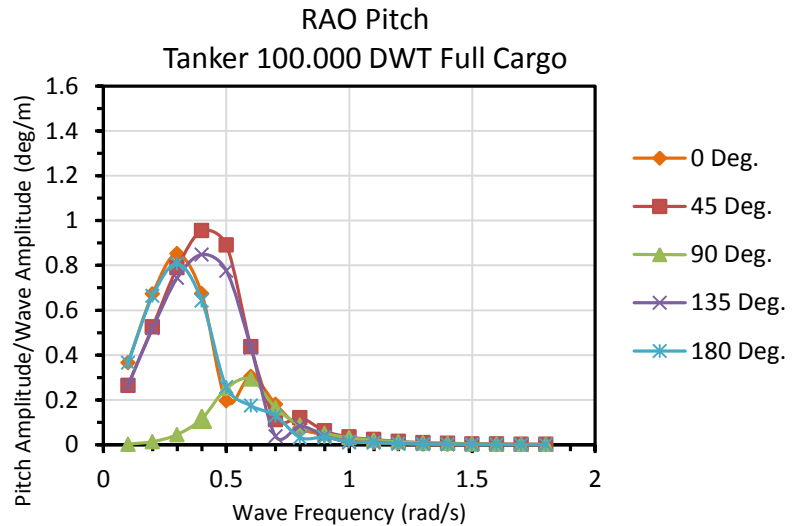


(b)

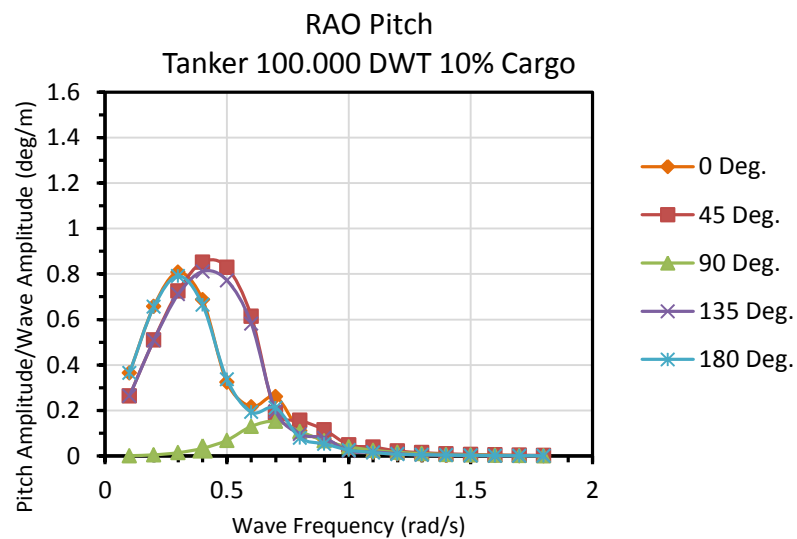
Gambar 4.40. Grafik RAO gerakan *Roll* tanker 100.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.40 gerakan *roll* pada kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan sangat tipis. Pada kondisi *full cargo* gerakan *roll* dapat mencapai nilai 8.25° pada frekuensi gelombang 0.5 rad/s sementara pada kondisi

10% cargo hanya mencapai nilai 7.7° pada frekuensi gelombang 0.6 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan.



(a)

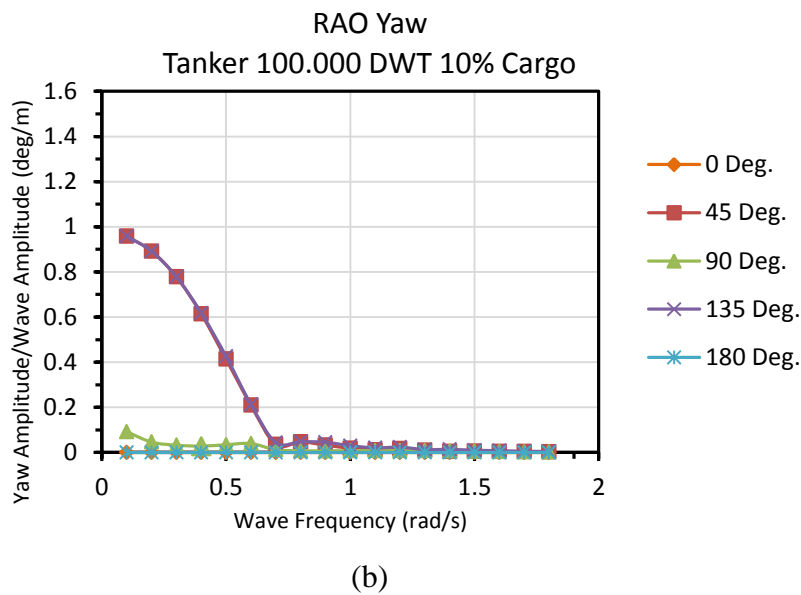
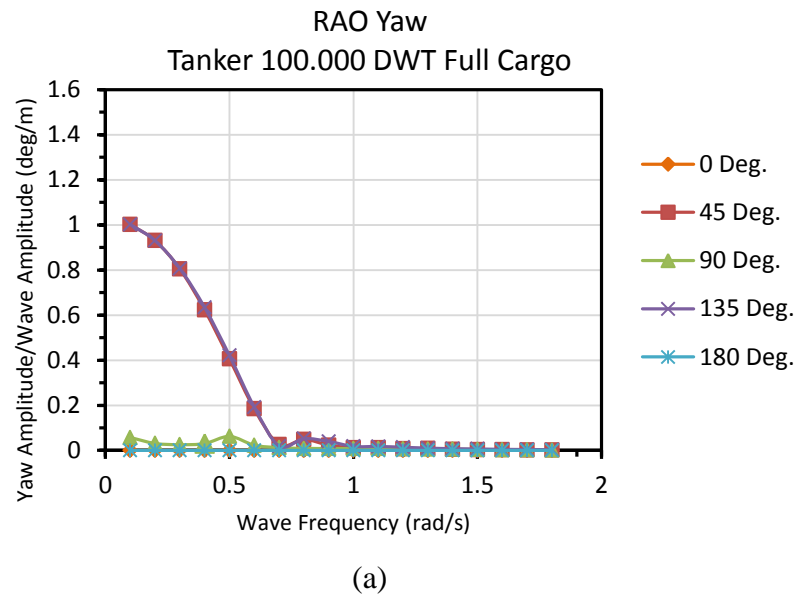


(b)

Gambar 4.41. Grafik RAO gerakan *Pitch* tanker 100.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Sama halnya dengan gerakan *roll* dan *heave*, mengacu pada gambar 4.41 gerakan *pitch* kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup dapat terlihat. Pada kondisi *full cargo* gerakan *pitch* dapat mencapai nilai 0.96° pada frekuensi gelombang 0.4 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* hanya

mencapai nilai 0.85° pada frekuensi gelombang 0.4 rad/s . Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 45° merupakan yang paling dominan.



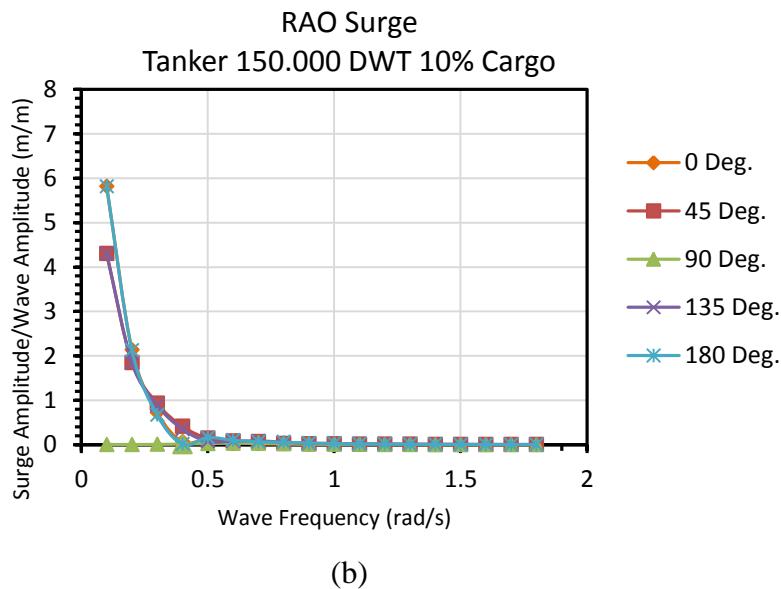
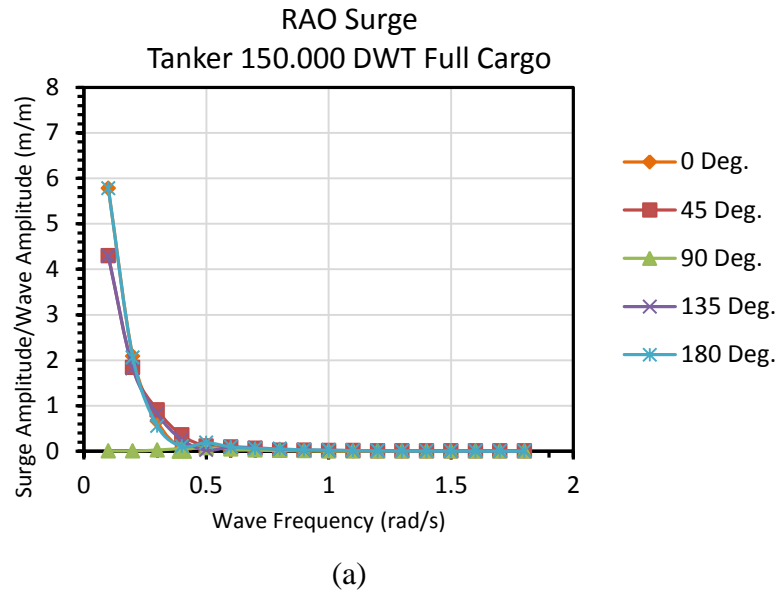
Gambar 4.42. Grafik RAO gerakan *Yaw* tanker 100.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada 4.42 pada gerakan *yaw* kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang sangat tipis. Pada kondisi *full cargo* gerakan *yaw* dapat mencapai nilai 1° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai 0.96° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/s . Dari

grafik terlihat pula gelombang dari arah 45° dan 135° merupakan yang paling dominan.

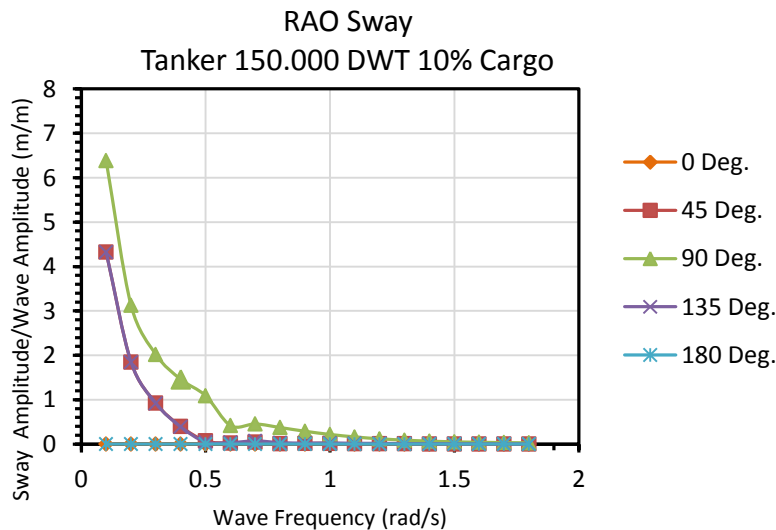
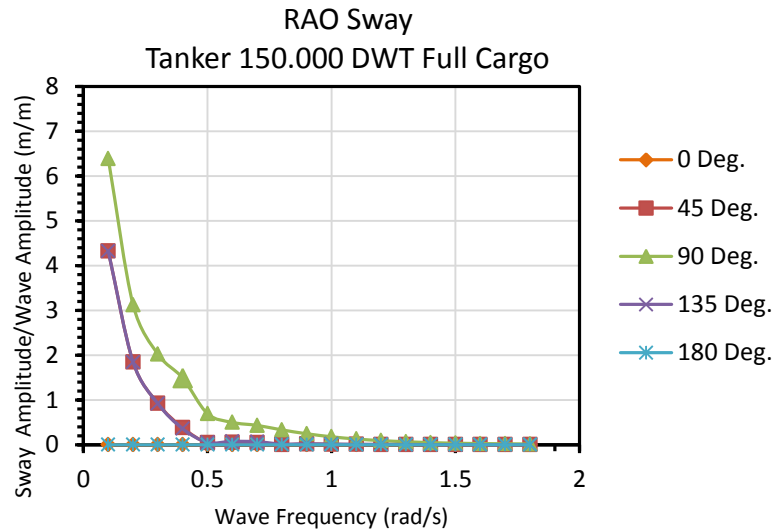
4.3.5. Tanker 150.000 DWT

Karakteristik gerakan tanker 150.000 DWT untuk enam derajat kebebasan ditunjukkan dalam grafik RAO yang didapatkan melalui bantuan *software HydroSTAR*.



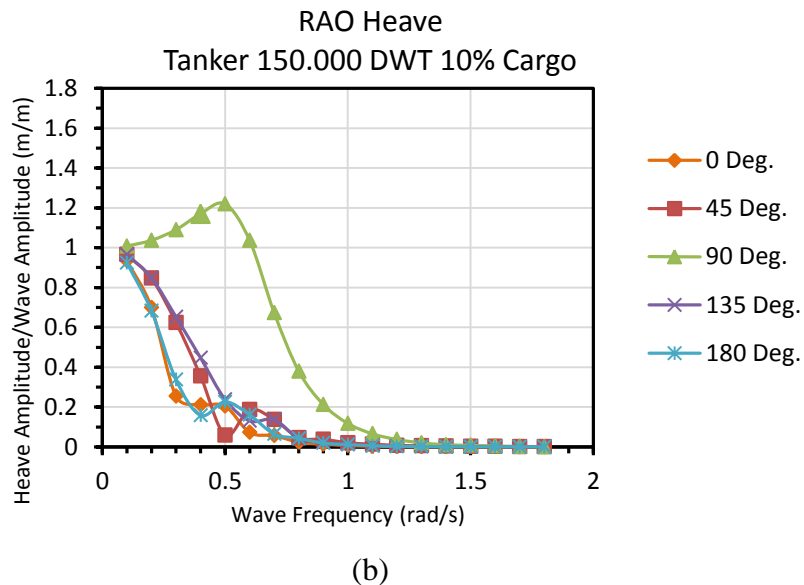
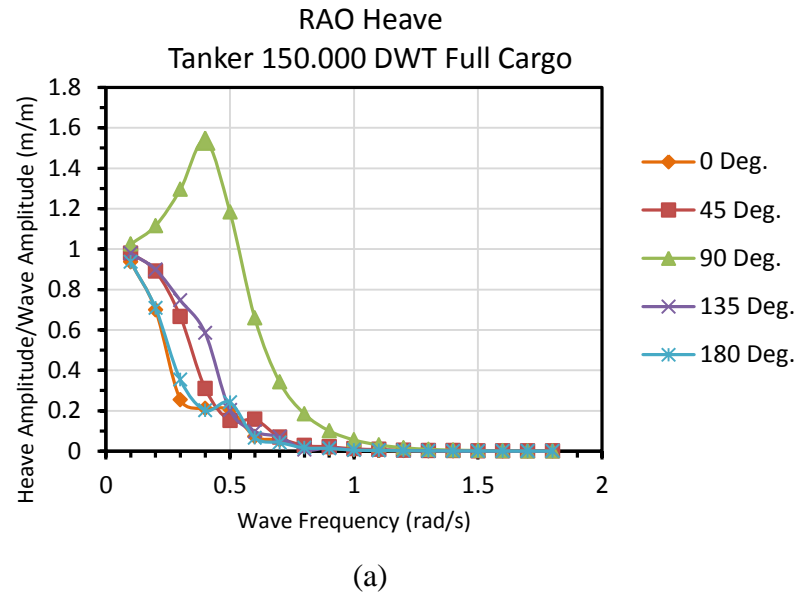
Gambar 4.43. Grafik RAO gerakan *Surge* tanker 150.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.43, serupa dengan struktur tanker lainnya, dari grafik dapat terlihat bahwa pada gerakan *surge* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Pada gerakan ini gelombang dari arah 0° dan 180° tampak lebih dominan sementara gelombang dari arah 90° merupakan yang paling tidak dominan. Hal ini dapat dimaklumi mengingat *surge* adalah gerakan translasional pada sumbu x.



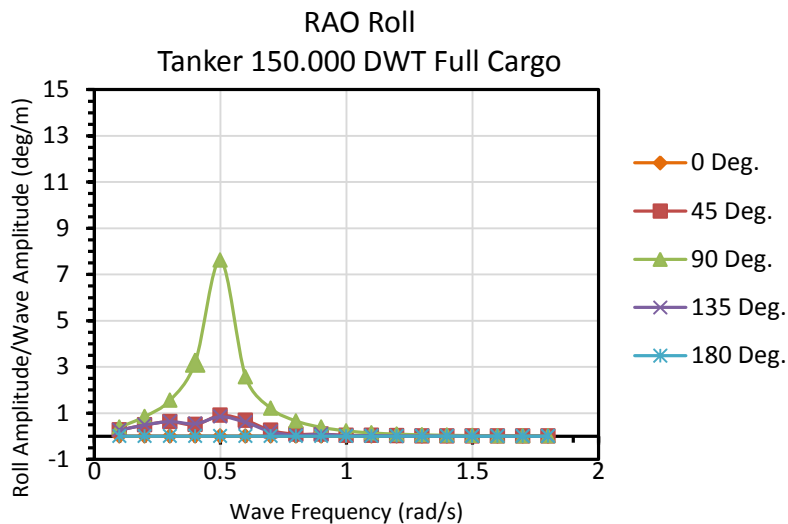
Gambar 4.44. Grafik RAO gerakan *Sway* tanker 150.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Dari grafik gambar 4.44, dapat terlihat bahwa pada gerakan *sway* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan. Pada gerakan ini gelombang dari arah 0° dan 180° tampak tidak dominan sementara gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan – berkebalikan dengan gerakan *surge*. Hal ini dapat dimaklumi mengingat *sway* adalah gerakan translasional pada sumbu y.

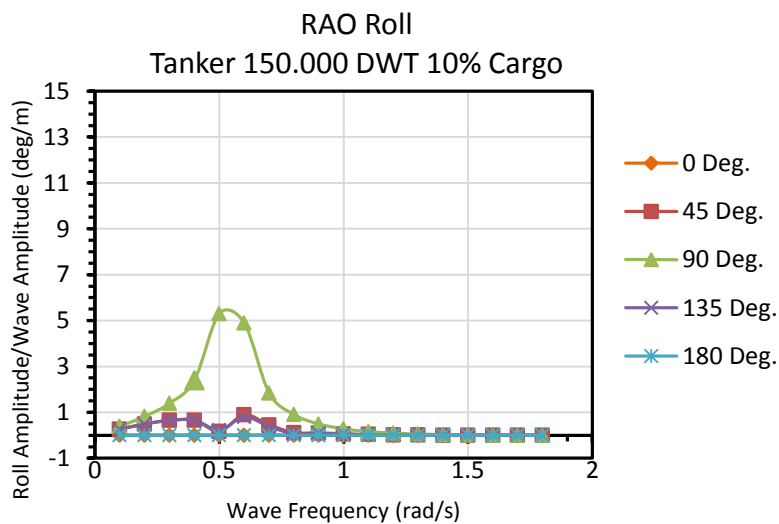


Gambar 4.45. Grafik RAO gerakan *Heave* tanker 150.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Berbeda dengan gerakan translasional lainnya, gambar 4.45 menunjukkan bahwa gerakan *heave* untuk kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang cukup terlihat. Pada kondisi *full cargo* gerakan *heave* dapat mencapai nilai 1.54 m pada frekuensi gelombang 0.4 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai 1.22 m pada frekuensi gelombang 0.5 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan.



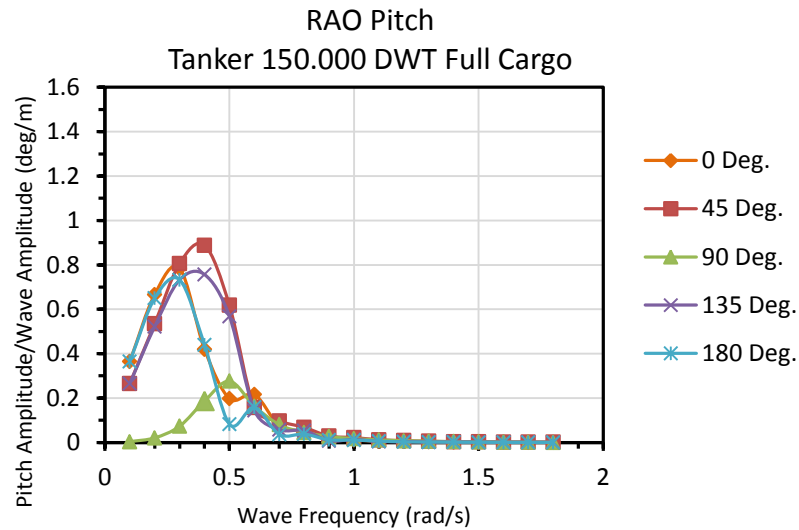
(a)



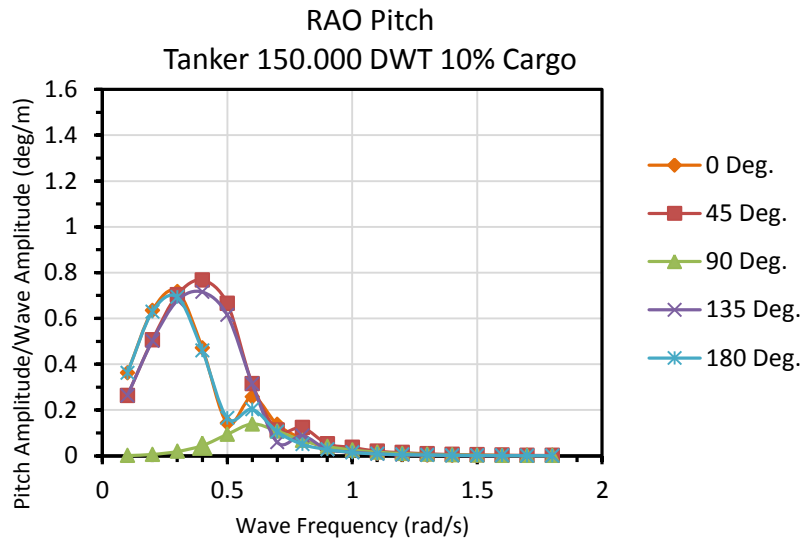
(b)

Gambar 4.46. Grafik RAO gerakan *Roll* tanker 150.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.46, gerakan *roll* pada kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan sangat tipis. Pada kondisi *full cargo* gerakan *roll* dapat mencapai nilai 7.61° pada frekuensi gelombang 0.5 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai 5.31° pada frekuensi gelombang 0.5 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 90° merupakan yang paling dominan.



(a)

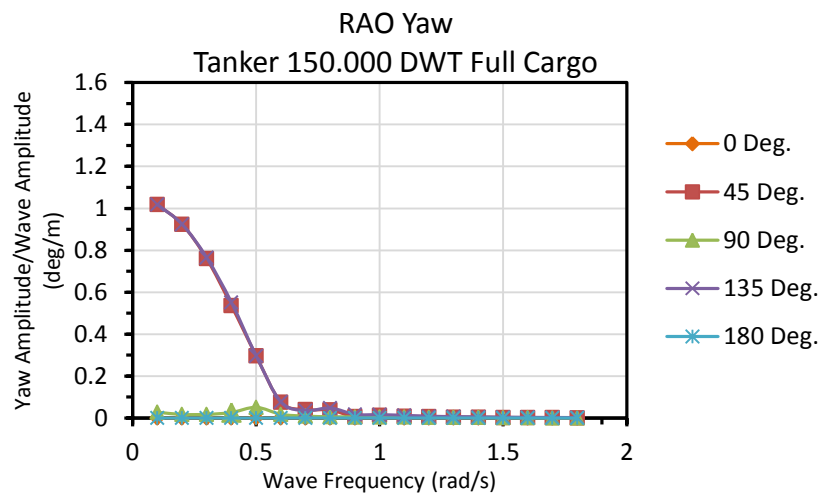


(b)

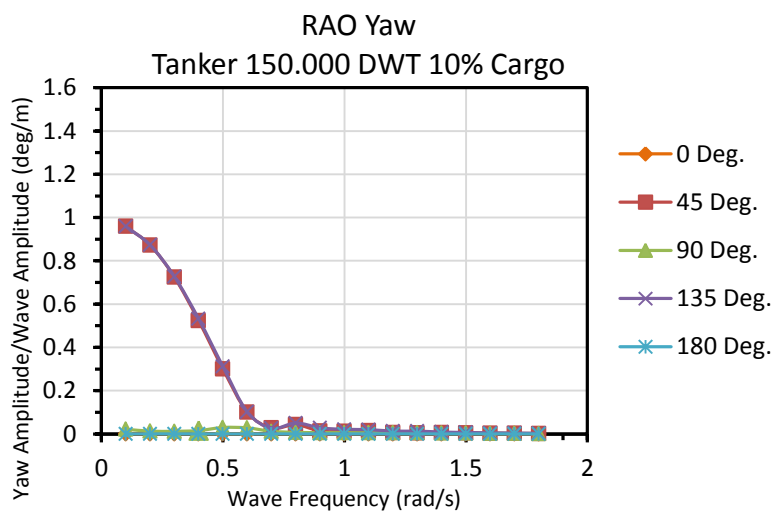
Gambar 4.47. Grafik RAO gerakan *Pitch* tanker 150.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.47 sama halnya dengan gerakan *roll* dan *heave*, pada gerakan *pitch* kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang

cukup dapat terlihat walaupun tidak terlalu banyak. Pada kondisi *full cargo* gerakan *pitch* dapat mencapai nilai 0.89° pada frekuensi gelombang 0.4 rad/s sementara pada kondisi *10% cargo* hanya mencapai nilai 0.77° pada frekuensi gelombang 0.4 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 45° merupakan yang paling dominan.



(a)



(b)

Gambar 4.48. Grafik RAO gerakan *Yaw* tanker 150.000 DWT pada kondisi *full cargo* (a) dan *10% cargo* (b) menggunakan *software HydroSTAR*

Mengacu pada gambar 4.48, gerakan *yaw* kondisi *full cargo* dan *10% cargo* memiliki perbedaan yang sangat tipis. Pada kondisi *full cargo* gerakan *pitch* dapat mencapai nilai 1.02° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/s sementara pada kondisi

10% cargo hanya mencapai nilai 0.96° pada frekuensi gelombang 0.1 rad/s. Dari grafik terlihat pula gelombang dari arah 45° dan 135° merupakan yang paling dominan.

4.4. Analisis Buoy Kondisi Tertambat – *Stand Alone*

Untuk memastikan kemampuan *common spare buoy* beroperasi pada kedua lokasi di Terminal Transfer Utama Tuban, diperlukan evaluasi pada kondisi tertambat tanpa tanker atau *stand alone*. Untuk semua simulasi, moda gerak yang ditinjau adalah *heave*, *roll* dan *pitch*. Namun demikian, dikarenakan perubahan konfigurasi *mooring line*, terjadi gerakan *yaw* yang pada penelitian ini gerakan tersebut tidak ditinjau. Simulasi tambat pada masing-masing lokasi menggunakan *software Ariane*.

4.4.1. Lokasi (A) – SPM #150

Lokasi A merupakan lokasi SPM #150 dengan kapasitas tambat kapal maksimum 150.000 DWT dengan kedalaman perairan 23.5 m. Berikut merupakan hasil dari simulasi *time domain* berdurasi 10800 detik (3 jam) ditunjukkan pada tabel 4.15.

Tabel 4.15. *Significant tension* pada *mooring line buoy* SPM IMODCO pada lokasi A

| No. | Mooring Line | Significant Tension (kN) | | Min. Allowable SF API RP 2SK 3 rd Edition | Kondisi Pembebanan | |
|-----|--------------|--------------------------|--------------|--|--------------------|-----------------|
| | | Inline | Between Line | | SF Inline | SF Between Line |
| 1 | Line 1 | 675.34 | 632.92 | 1.67 | 7.27 | 7.75 |
| 2 | Line 2 | 816.23 | 566.40 | 1.67 | 6.01 | 8.66 |
| 3 | Line 3 | 1051.86 | 738.07 | 1.67 | 4.66 | 6.65 |
| 4 | Line 4 | 778.91 | 586.08 | 1.67 | 6.30 | 8.37 |
| 5 | Line 5 | 710.68 | 557.22 | 1.67 | 6.90 | 8.81 |
| 6 | Line 6 | 1252.23 | 799.56 | 1.67 | 3.92 | 6.14 |

Berdasarkan simulasi yang telah dilakukan, seluruh *mooring line* telah memenuhi kriteria *safety factor* API RP 2SK 3rd edition untuk kondisi *intact* dinamis. Selain *tension* pada *mooring line*, perlu pula dilakukan evaluasi terhadap gerakan dari *buoy*. Karena tidak dilakukan pemodelan *riser*, maka *offset* dari *buoy* tidak menjadi faktor yang signifikan. Gerakan yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch*. Tabel 4.16. menunjukkan hasil simulasi *time domain* untuk kondisi *stand alone*.

Tabel 4.16. *Significant motion* SPM IMODCO pada lokasi A

| No. | <i>Buoy Motion</i> | Kondisi Pembebanan | | <i>Not Operable (%)</i> | |
|-----|--------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| | | <i>Inline</i> | <i>Between Line</i> | <i>Inline</i> | <i>Between Line</i> |
| 1 | <i>Significant Heave (m)</i> | 0.811 | 1.828 | 0.231 | 4.203 |
| 2 | <i>Significant Roll (deg)</i> | 7.993 | 4.186 | 4.749 | 0.000 |
| 3 | <i>Significant Pitch (deg)</i> | 7.236 | 0.939 | 0.396 | 0.000 |

Batas yang diizinkan untuk gerakan *heave* adalah -2.13 m, dimana pada kondisi tersebut *buoy* telah tercelup seluruhnya ke dalam air. Sementara untuk gerakan *roll* dan *pitch* batas yang diizinkan adalah 20°, dimana pada kondisi tersebut *buoy* telah mencapai kemiringan maksimum sebelum tercelup ke dalam air. Nilai *not operable* menunjukkan presentase kejadian yang melebihi batas izin masing-masing gerakan. Berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam *Lloyd's Register Rulefinder* ver. 9.11., sebuah struktur dikatakan mengalami *capsize* atau dianggap tenggelam ketika presentase kejadian di atas batas izin *roll* berada di atas nilai 20%. Dalam hal ini, gerakan *pitch* juga diperhitungkan dengan kriteria serupa mengingat bentuk *buoy* yang silinder. Karena nilai presentase kegagalan berada di bawah 20%, maka *buoy* dianggap dapat bertahan pada lokasi A.

Namun demikian, melihat respon yang terbilang lebih besar dari lokasi B, pengoperasian di lokasi A memerlukan perhatian dan sistem antisipasi yang baik.

4.4.2. Lokasi (B) – SPM #035

Lokasi B merupakan lokasi SPM #035 dengan kapasitas tambat kapal maksimum 35.000 DWT dengan kedalaman perairan 17.5 m. Tabel 4.17. menunjukkan hasil dari simulasi *time domain* berdurasi 10800 detik (3 jam).

Tabel 4.17. *Significant tension* pada *mooring line buoy* SPM IMODCO pada lokasi B

| No. | <i>Mooring Line</i> | <i>Significant Tension (kN)</i> | | <i>Min. Allowable SF API RP 2SK 3rd Edition</i> | Kondisi Pembebanan | |
|-----|---------------------|---------------------------------|---------------------|--|--------------------|------------------------|
| | | <i>Inline</i> | <i>Between Line</i> | | <i>SF Inline</i> | <i>SF Between Line</i> |
| 1 | <i>Line 1</i> | 659.149 | 625.607 | 1.67 | 6.20 | 6.54 |
| 2 | <i>Line 2</i> | 623.987 | 444.806 | 1.67 | 6.55 | 9.19 |
| 3 | <i>Line 3</i> | 570.687 | 573.436 | 1.67 | 7.16 | 7.13 |
| 4 | <i>Line 4</i> | 604.213 | 677.932 | 1.67 | 6.77 | 6.03 |
| 5 | <i>Line 5</i> | 668.708 | 431.794 | 1.67 | 6.11 | 9.47 |
| 6 | <i>Line 6</i> | 527.038 | 523.860 | 1.67 | 7.76 | 7.80 |

Mengacu pada tabel 4.17. sama halnya dengan SPM #150, *mooring line* pada SPM #035 telah memenuhi kriteria *safety factor* API RP 2SK 3rd edition untuk kondisi *intact* dinamis. Selanjutnya dilakukan pula evaluasi terhadap gerakan *buoy*. Karena tidak dilakukan pemodelan *riser*, maka *offset* dari *buoy* tidak menjadi factor yang signifikan. Gerakan yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch*. Pada tabel 4.18. dicantumkan hasil simulasi *time domain* untuk kondisi *stand alone*

Tabel 4.18. *Significant motion* SPM IMODCO pada lokasi B

| No. | <i>Buoy Motion</i> | Kondisi Pembebanan | | <i>Not Operable (%)</i> | |
|-----|--------------------------------|--------------------|---------------------|-------------------------|---------------------|
| | | <i>Inline</i> | <i>Between Line</i> | <i>Inline</i> | <i>Between Line</i> |
| 1 | <i>Significant Heave (m)</i> | 0.711 | 0.772 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | <i>Significant Roll (deg)</i> | 0.998 | 5.061 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | <i>Significant Pitch (deg)</i> | 6.944 | 0.782 | 0.041 | 0.000 |

Batas yang diizinkan untuk gerakan *heave* adalah -2.13 m, dimana pada kondisi tersebut *buoy* telah tercelup seluruhnya ke dalam air. Sementara untuk gerakan *roll* dan *pitch* batas yang diizinkan adalah 11°, dimana pada kondisi tersebut *buoy* telah mencapai kemiringan maksimum sebelum tercelup ke dalam air. Probabilitas kegagalan menunjukkan presentase kejadian yang melebihi batas izin masing-masing gerakan. Berdasarkan ketentuan yang tercantum dalam Lloyd's Register, sebuah struktur dikatakan mengalami *capsize* atau dianggap tenggelam ketika presentase kejadian di atas batas izin *roll* berada di atas nilai 20%. Dalam hal ini, gerakan *pitch* juga diperhitungkan dengan kriteria serupa mengingat bentuk *buoy*. Karena nilai presentase kegagalan berada di bawah 20%, maka *buoy* dianggap dapat bertahan pada lokasi B.

4.5. Analisis *Buoy* Kondisi Tertambat Tanker

Setelah dilakukan evaluasi kelayakan pada kondisi *stand alone* untuk kedua lokasi di Terminal Transfer Utama Tuban, dilakukan simulasi *time domain* dengan menambatkan tanker sesuai dengan kapasitas awal masing-masing SPM.

Pada subab sebelumnya telah ditunjukkan skenario kerja yang digunakan dalam penelitian ini, dimana untuk masing-masing SPM terdapat variasi ukuran tanker dan posisi tambat kapal yaitu *inline* dan *between line*. Arah pembebanan yang digunakan adalah *head seas* pada kondisi *full cargo* dan *10% cargo*.

Setelah dilakukan simulasi *time domain* menggunakan *software Ariane*, selanjutnya dipilih kasus-kasus yang memberikan efek terparah untuk masing-masing ukuran tanker yang kemudian dijadikan acuan dalam perhitungan operabilitas.

4.5.1. Lokasi (A) – SPM #150

Pada lokasi ini terdapat dua macam ukuran tanker yang akan diuji coba yaitu kapal dengan ukuran 150.000 DWT yang merupakan kapasitas maksimum dari SPM #150 serta ukuran 100.000 DWT yang merupakan kapasitas maksimum dari SPM IMODCO.

Setelah dilakukan simulasi, maka dipilihlah kasus dengan efek maksimum untuk masing-masing ukuran tanker dengan hasil simulasi dicantumkan pada tabel 4.19. dan 4.20.

Tabel 4.19. *Significant tension* pada *mooring line* SPM IMODCO kondisi tertambat tanker pada lokasi A

| No. | Mooring Line | Tanker | |
|-----|---------------------------------|-------------|-------------|
| | | 100.000 DWT | 150.000 DWT |
| 1 | Significant Tension Line 1 (kN) | 700.719 | 605.105 |
| 2 | Significant Tension Line 2 (kN) | 672.684 | 668.722 |
| 3 | Significant Tension Line 3 (kN) | 1107.760 | 969.704 |
| 4 | Significant Tension Line 4 (kN) | 642.295 | 587.548 |
| 5 | Significant Tension Line 5 (kN) | 796.591 | 794.904 |
| 6 | Significant Tension Line 6 (kN) | 937.622 | 853.474 |

Tabel 4.20. *Significant motion* SPM IMODCO kondisi tertambat tanker pada lokasi A

| No. | Buoy Motion | Tanker | | Not Operable (%) | |
|-----|-------------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|
| | | 100.000 DWT | 150.000 DWT | 100.000 DWT | 150.000 DWT |
| 1 | Significant Heave (m) | 0.734 | 0.783 | 0.004 | 0.000 |
| 2 | Significant Roll (deg) | 2.060 | 1.612 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | Significant Pitch (deg) | 6.509 | 6.498 | 0.000 | 0.000 |

Untuk tanker ukuran 150.000 DWT, kasus yang memberikan efek terburuk adalah pada saat tanker berada pada posisi *inline* dengan muatan *10% cargo*. Sementara tanker ukuran 100.000 DWT memberikan efek terburuk pada posisi

yang sama yaitu *inline* dengan muatan *10% cargo*. Kedua kasus tersebut yang kemudian digunakan sebagai patokan perhitungan operabilitas pada lokasi A SPM #150.

4.5.2. Lokasi (B) – SPM #035

Sama halnya dengan lokasi sebelumnya, pada lokasi ini terdapat dua macam ukuran tanker yang akan diuji coba yaitu kapal dengan ukuran 35.000 DWT yang merupakan kapasitas maksimum dari SPM #035 serta ukuran 17.500 DWT yang merupakan ukuran tanker yang banyak digunakan di perairan Indonesia khususnya oleh PT. Pertamina (Persero).

Setelah dilakukan simulasi, maka dipilihlah kasus dengan efek maksimum untuk masing-masing ukuran tanker dengan hasil simulasi pada tabel 4.21.dan 4.22.

Tabel 4.21. *Significant tension* pada *mooring line* SPM IMODCO kondisi tertambat tanker pada lokasi B

| No. | Mooring Line | Tanker | |
|-----|---------------------------------|------------|------------|
| | | 17.500 DWT | 35.000 DWT |
| 1 | Significant Tension Line 1 (kN) | 651.717 | 630.923 |
| 2 | Significant Tension Line 2 (kN) | 676.673 | 453.246 |
| 3 | Significant Tension Line 3 (kN) | 570.191 | 579.092 |
| 4 | Significant Tension Line 4 (kN) | 736.046 | 677.897 |
| 5 | Significant Tension Line 5 (kN) | 613.950 | 442.380 |
| 6 | Significant Tension Line 6 (kN) | 642.174 | 536.074 |

Tabel 4.22. *Significant motion* SPM IMODCO kondisi tertambat tanker pada lokasi B

| No. | Buoy Motion | Tanker | | Not Operable (%) | |
|-----|-------------------------|------------|------------|------------------|------------|
| | | 17.500 DWT | 35.000 DWT | 17.500 DWT | 35.000 DWT |
| 1 | Significant Heave (m) | 0.682 | 0.979 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | Significant Roll (deg) | 1.380 | 4.989 | 0.000 | 0.011 |
| 3 | Significant Pitch (deg) | 6.861 | 0.858 | 0.098 | 0.000 |

Untuk tanker ukuran 35.000 DWT, kasus yang memberikan efek terburuk adalah pada saat tanker berada pada posisi *between line* dengan muatan *10% cargo*. Sementara tanker ukuran 17.500 DWT memberikan efek terburuk pada posisi yang berbeda yaitu *inline* dengan muatan *full cargo*. Kedua kasus tersebut

yang kemudian digunakan sebagai patokan perhitungan operabilitas pada lokasi B SPM #035.

4.6. Analisis Operabilitas Berdasarkan *Tension* dan Gerakan *Buoy*

Setelah didapatkan kasus-kasus yang memberikan efek maksimum dari masing-masing tanker, selanjutnya dilakukan analisis operabilitas dengan melakukan simulasi *time domain* menggunakan variasi tinggi gelombang signifikan. Simulasi *time domain* menggunakan bantuan *software Ariane* dari *Bureau Veritas*. Variasi tinggi gelombang signifikan yang digunakan adalah gelombang 1.25 m, 2.5 m, serta 3.5 m – data ini didapatkan dari *wave scatter diagram* untuk laut utara Tuban yang merupakan lokasi dari Terminal Transfer Utama Tuban. Dalam penelitian ini, digunakan T_p sebesar 3 sec karena selain memiliki frekuensi kejadian yang cukup dominan, periode ini juga memberikan efek yang lebih ekstrem jika dibandingkan dengan T_p lainnya.

Kriteria operabilitas yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. *Tension* pada *mooring line* memenuhi kriteria keselamatan sesuai API RP 2SK 3rd edition (2005) yaitu menggunakan *safety factor* 1.67 untuk kondisi *intact* dinamis.
2. *Buoy* tidak tercelup ke dalam air lebih dari 20% dari total seluruh kejadian, hal ini bisa dilihat dari:
 - a. Gerakan *Heave* memenuhi kriteria dimana *buoy* tidak boleh tercelup sepenuhnya dengan presentase kegagalan harus di bawah 20% dari total seluruh kejadian.
 - b. Gerakan *Roll* memenuhi kriteria dimana *buoy* tidak boleh melewati batas kemiringan dengan presentase kegagalan harus di bawah 20% dari total seluruh kejadian.
 - c. Gerakan *Pitch* memenuhi kriteria dimana *buoy* tidak boleh melewati batas kemiringan dengan presentase kegagalan harus di bawah 20% dari total seluruh kejadian.

Namun demikian, dalam kenyataannya gerakan-gerakan yang ditinjau terjadi pada waktu yang bersamaan dan karenanya diperlukan analisa lebih lanjut. Kriteria operasi menjadi seperti ditunjukkan dalam tabel 4.23

Tabel 4.23. Kriteria operabilitas

| | | | |
|--------------|------------|---------------------|---------------------|
| | | <i>Heave</i> | |
| | | AMAN | TIDAK AMAN |
| <i>Pitch</i> | AMAN | <i>Operable</i> | <i>Not Operable</i> |
| | TIDAK AMAN | <i>Not Operable</i> | <i>Not Operable</i> |

4.6.1. Lokasi (A) – SPM #150

Pada lokasi ini telah dijelaskan sebelumnya bahwa terdapat dua kapasitas tanker yang akan dianalisis. Perhitungan operabilitas dilakukan untuk masing-masing ukuran tanker secara terpisah.

4.6.1.1. Tanker Kapasitas 100.000 DWT

Dalam analisis ini terdapat 4 (empat) aspek yang perlu ditinjau, yaitu *tension* pada *mooring line*, gerakan *heave*, *roll*, dan *pitch*. Berikut hasil simulasi *time domain* dengan variasi tinggi gelombang signifikan untuk tanker kapasitas 100.000 DWT.

Tabel 4.24. *SF* untuk *Significant tension* pada *mooring line* SPM IMODCO dengan tertambat tanker 100.000 DWT pada variasi *Hs*

| No. | <i>Mooring Line</i> | <i>Min. Allowable SF API RP 2SK 3rd Edition</i> | <i>Hs</i> (m) | | |
|-----|---------------------|--|---------------|-------|-------|
| | | | 1.25 | 2.5 | 3.5 |
| 1 | <i>Line 1 SF</i> | 1.67 | 6.767 | 7.217 | 5.675 |
| 2 | <i>Line 2 SF</i> | 1.67 | 6.832 | 5.227 | 4.737 |
| 3 | <i>Line 3 SF</i> | 1.67 | 7.538 | 5.411 | 4.105 |
| 4 | <i>Line 4 SF</i> | 1.67 | 9.183 | 6.930 | 5.765 |
| 5 | <i>Line 5 SF</i> | 1.67 | 5.975 | 4.308 | 3.562 |
| 6 | <i>Line 6 SF</i> | 1.67 | 7.357 | 5.942 | 4.888 |

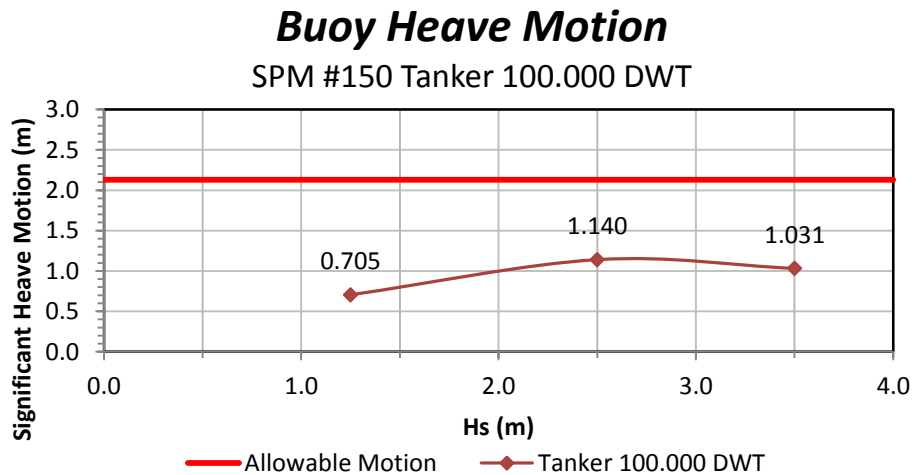
Mengacu pada tabel 4.24., dapat disimpulkan bahwa jika ditinjau dari *tension* yang terjadi *buoy* masih dapat beroperasi dengan baik saat ditambat oleh tanker berukuran 100.000 DWT hingga tinggi gelombang signifikan 3.5 m.

Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap gerakan dari *buoy* pada variasi nilai H_s tertentu.

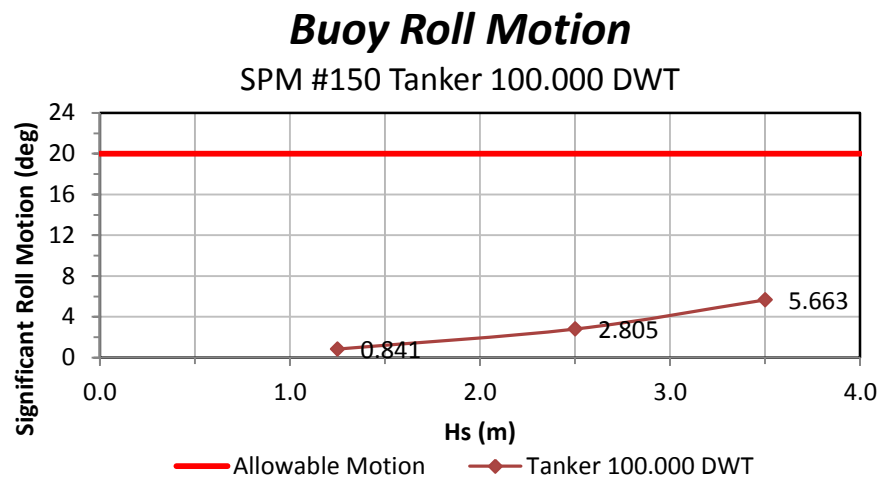
Tabel 4.25. *Significant motion* SPM IMODCO dengan tertambat tanker 100.000 DWT pada variasi H_s

| No. | Motion | Hs (m) | | | Not Operable (%) | | |
|-----|-------------------------|--------|--------|--------|------------------|-------|-------|
| | | 1.25 | 2.5 | 3.5 | 1.25 | 2.5 | 3.5 |
| 1 | Significant Heave (m) | 0.705 | 1.140 | 1.031 | 0.000 | 0.000 | 0.008 |
| 2 | Significant Roll (deg) | 0.841 | 2.805 | 5.663 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | Significant Pitch (deg) | 6.077 | 10.701 | 13.563 | 0.000 | 0.064 | 0.178 |

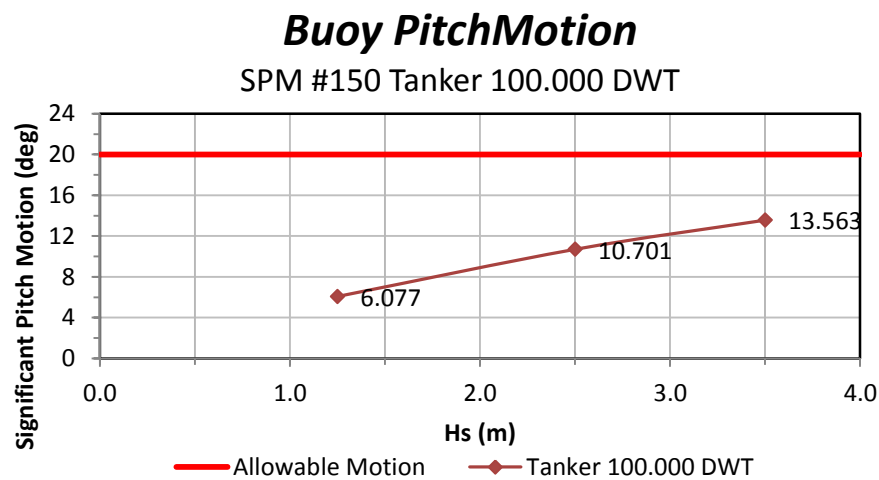
Mengacu pada tabel 4.25, untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik mengenai perbandingan nilai signifikan dan *allowable movement* kemudian diplotkan grafik perbandingan antara nilai-nilai signifikan gerakan yang terjadi pada masing-masing variasi H_s dengan *allowable movement* untuk tiap moda gerak seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.49. – 4.51



Gambar 4.49. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *heave* untuk tanker 100.000 DWT

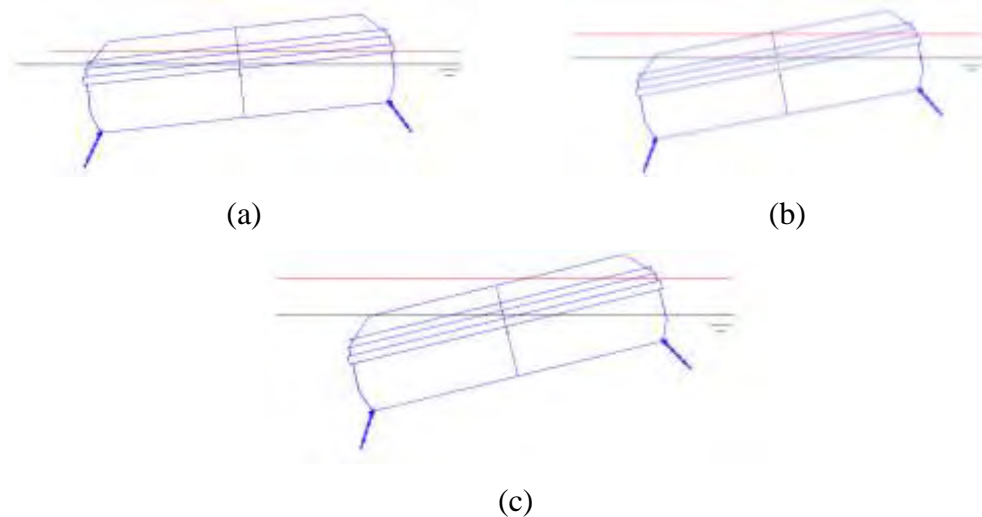


Gambar 4.50. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *roll* untuk tanker 100.000 DWT



Gambar 4.51. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *pitch* untuk tanker 100.000 DWT

Jika dilihat dari nilai-nilai signifikan serta presentase *not operable* seluruh moda gerak serta memperhatikan nilai *significant tension* yang terjadi, dapat disimpulkan bahwa *buoy* dapat beroperasi dengan baik hingga H_s 3.5 m. Namun demikian, pergerakan *buoy* tidak bisa hanya ditinjau dari *single motion*. Pada gambar 4.52, diilustrasikan, ketika nilai-nilai signifikan dari *heave* dan *pitch* terjadi pada waktu yang bersamaan.



Gambar 4.52. Ilustrasi *heave* dan *pitch* signifikan ketika terjadi bersamaan H_s 1.25 m (a), 2.5 m (b), dan 3.5 m (c) untuk tanker 100.000 DWT

Garis merah pada ilustrasi merupakan asumsi amplitudo gelombang sementara garis hitam adalah asumsi MSL. Dari ilustrasi tersebut dapat dilihat bahwa walaupun nilai-nilai yang ada masih jauh di bawah *allowable motion*, ketika terjadi pada waktu yang bersamaan *buoy* pada H_s 2.5 m dan 3.5 m telah tercelup ke dalam air. Karenanya, diperlukan analisis lebih lanjut ketika gerakan tersebut terjadi pada waktu bersamaan. Dalam hal ini, yang ditinjau adalah gerakan *heave* dan rotasional yang lebih dominan yaitu *pitch*. Dengan mengacu pada kriteria operasi dalam tabel 4.23 maka didapatkan nilai seperti pada tabel 4.26.

Tabel 4.26. Nilai presentase *not operable* tanker 100.000 DWT

| SPM | Tanker | H_s (m) | <i>Not Operable</i> (%) |
|------|-------------|-----------|-------------------------|
| #150 | 100.000 DWT | 1.25 | 0.10 |
| | | 2.5 | 33.25 |
| | | 3.5 | 81.23 |

Mengacu pada tabel 4.26. maka dapat disimpulkan bahwa *buoy* tidak dapat beroperasi dengan kapal tertambat 100.000 DWT pada H_s 2.5 m.

4.6.1.2. Tanker Kapasitas 150.000 DWT

Dalam analisis ini terdapat 4 (empat) aspek yang perlu ditinjau, yaitu *tension* pada *mooring line*, gerakan signifikan *heave*, *roll*, dan *pitch*. Berikut hasil simulasi *time domain* dengan variasi tinggi gelombang signifikan untuk tanker kapasitas 150.000 DWT.

Tabel 4.27. *SF* untuk *Significant tension* pada *mooring line* SPM IMODCO dengan tertambat tanker 150.000 DWT pada variasi *Hs*

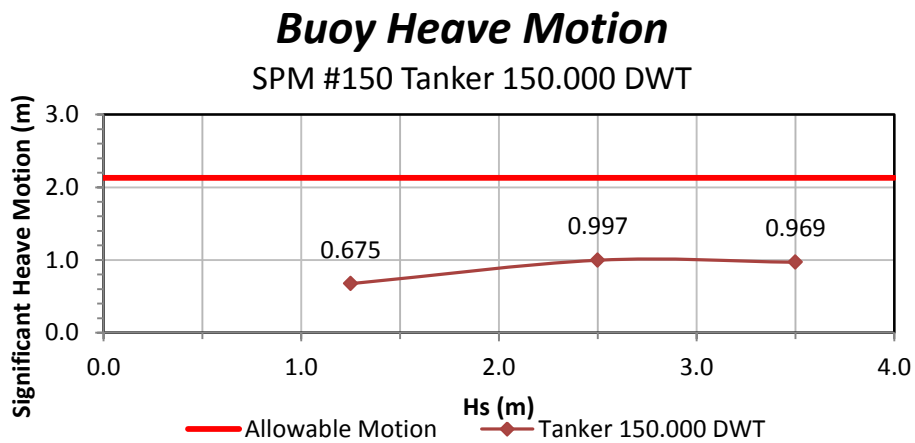
| No. | Mooring Line | Min. Allowable SF API RP 2SK 3 rd Edition | Hs (m) | | |
|-----|--------------|---|--------|-------|-------|
| | | | 1.25 | 2.5 | 3.5 |
| 1 | Line 1 SF | 1.67 | 9.962 | 7.451 | 5.967 |
| 2 | Line 2 SF | 1.67 | 6.898 | 5.112 | 4.619 |
| 3 | Line 3 SF | 1.67 | 7.593 | 5.957 | 4.470 |
| 4 | Line 4 SF | 1.67 | 9.136 | 6.920 | 5.841 |
| 5 | Line 5 SF | 1.67 | 5.872 | 4.133 | 3.427 |
| 6 | Line 6 SF | 1.67 | 7.389 | 6.307 | 5.214 |

Mengacu pada tabel 4.27., dapat disimpulkan bahwa jika ditinjau dari *tension* yang terjadi *buoy* masih dapat beroperasi dengan baik saat ditambat oleh tanker berukuran 150.000 DWT hingga tinggi gelombang signifikan 3.5 m. Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap gerakan dari *buoy* pada variasi nilai *Hs* tertentu.

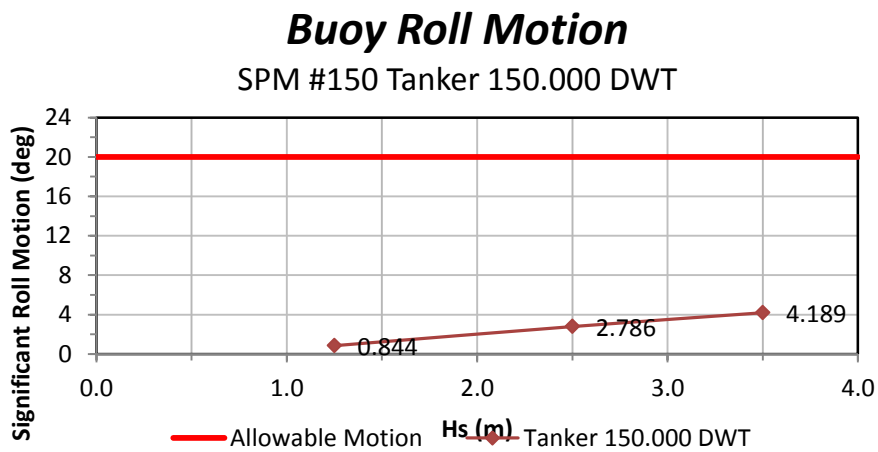
Tabel 4.28. *Significant motion* SPM IMODCO dengan tertambat tanker 150.000 DWT pada variasi *Hs*

| No. | Motion | Hs (m) | | | Not Operable (%) | | |
|-----|-------------------------|--------|--------|--------|------------------|-------|-------|
| | | 1.25 | 2.5 | 3.5 | 1.25 | 2.5 | 3.5 |
| 1 | Significant Heave (m) | 0.675 | 0.997 | 0.969 | 0.000 | 0.002 | 0.009 |
| 2 | Significant Roll (deg) | 0.844 | 2.786 | 4.189 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | Significant Pitch (deg) | 6.119 | 11.096 | 13.905 | 0.000 | 0.198 | 0.183 |

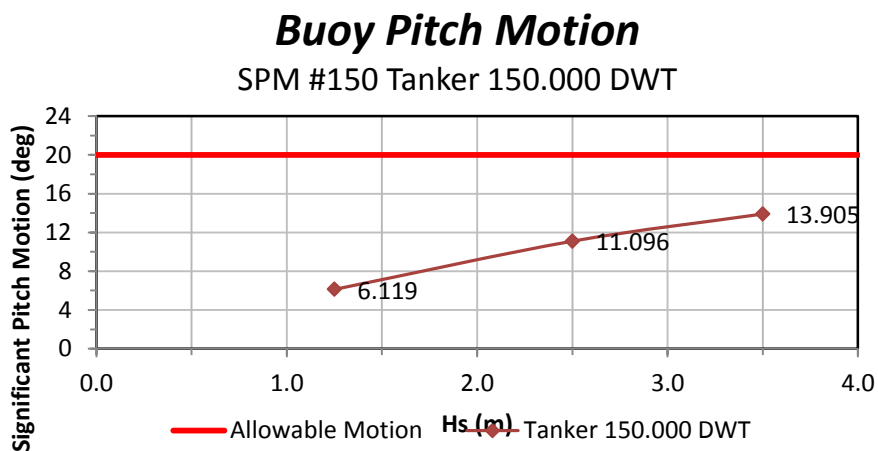
Mengacu pada tabel 4.28, untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik mengenai perbandingan nilai signifikan dan *allowable movement* kemudian diplotkan grafik perbandingan antara nilai-nilai signifikan gerakan yang terjadi pada masing-masing variasi *Hs* dengan *allowable movement* untuk tiap moda gerak seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.53. – 4.55



Gambar 4.53. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *heave* untuk tanker 150.000 DWT

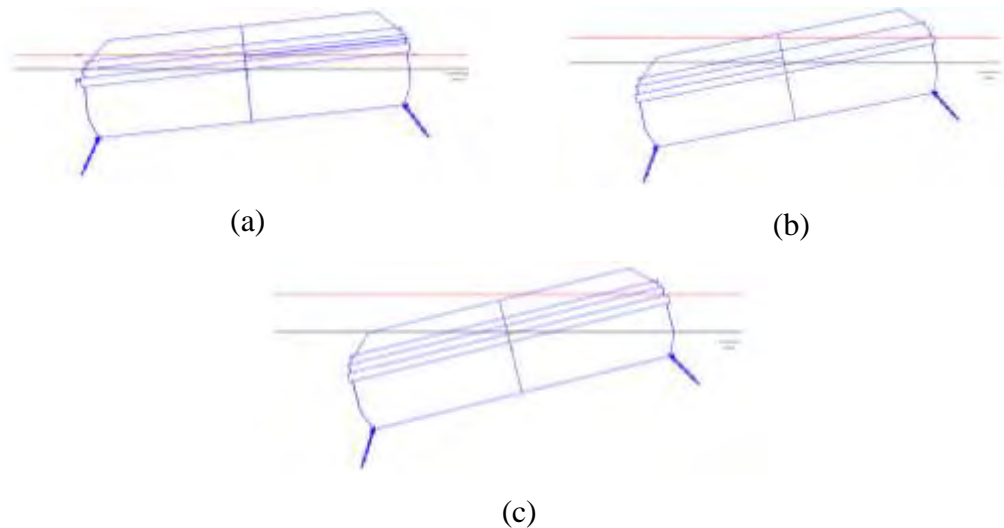


Gambar 4.54. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *roll* untuk tanker 150.000 DWT



Gambar 4.55. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *pitch* untuk tanker 150.000 DWT

Jika dilihat dari nilai-nilai signifikan serta presentase *not operable* seluruh moda gerak, dapat disimpulkan bahwa *buoy* dapat beroperasi dengan baik hingga H_s 3.5 m. Namun demikian sama halnya dengan kasus sebelumnya, pergerakan *buoy* tidak bisa hanya ditinjau dari *single motion*. Pada gambar 4.56. diilustrasikan, ketika nilai-nilai signifikan dari *heave* dan *pitch* terjadi pada waktu yang bersamaan.



Gambar 4.56. Nilai *heave* dan *pitch* signifikan ketika terjadi bersamaan H_s 1.25 m (a), 2.5 m (b), dan 3.5 m (c) untuk tanker 150.000 DWT

Garis merah pada ilustrasi merupakan asumsi amplitudo gelombang sementara garis hitam adalah asumsi MSL. Dari ilustrasi tersebut dapat dilihat bahwa walaupun nilai-nilai yang ada masih jauh di bawah *allowable motion*, ketika terjadi pada waktu yang bersamaan *buoy* pada H_s 2.5 m dan 3.5 m telah tercelup ke dalam air. Karenanya, diperlukan analisis lebih lanjut ketika gerakan tersebut terjadi pada waktu bersamaan. Dalam hal ini, yang ditinjau adalah gerakan *heave* dan rotasional yang lebih dominan yaitu *pitch*. Dengan mengacu pada kriteria operasi dalam tabel 4.23 maka didapatkan nilai seperti pada tabel 4.29.

Tabel 4.29. Nilai presentase *not operable* tanker 150.000 DWT

| SPM | Tanker | H_s (m) | <i>Not Operable</i> (%) |
|------|-------------|-----------|-------------------------|
| #150 | 150.000 DWT | 1.25 | 0.01 |
| | | 2.5 | 30.35 |
| | | 3.5 | 83.29 |

Mengacu pada tabel 4.29. maka dapat disimpulkan bahwa *buoy* tidak dapat beroperasi dengan kapal tertambat 150.000 DWT pada H_s 2.5 m.

4.6.2. Lokasi (B) – SPM #035

Sama halnya dengan lokasi sebelumnya, terdapat dua kapasitas tanker yang akan dianalisis pada lokasi ini. Perhitungan operabilitas dilakukan untuk masing-masing ukuran tanker secara terpisah.

4.6.2.1. Tanker Kapasitas 17.500 DWT

Dalam analisis ini terdapat 4 (empat) aspek yang perlu ditinjau, yaitu *tension* pada *mooring line*, gerakan signifikan *heave*, *roll*, dan *pitch*. Berikut hasil simulasi *time domain* dengan variasi tinggi gelombang signifikan untuk tanker kapasitas 17.500 DWT.

Tabel 4.30. *SF* untuk *significant tension* pada *mooring line* SPM IMODCO dengan tertambat tanker 17.500 DWT pada variasi H_s

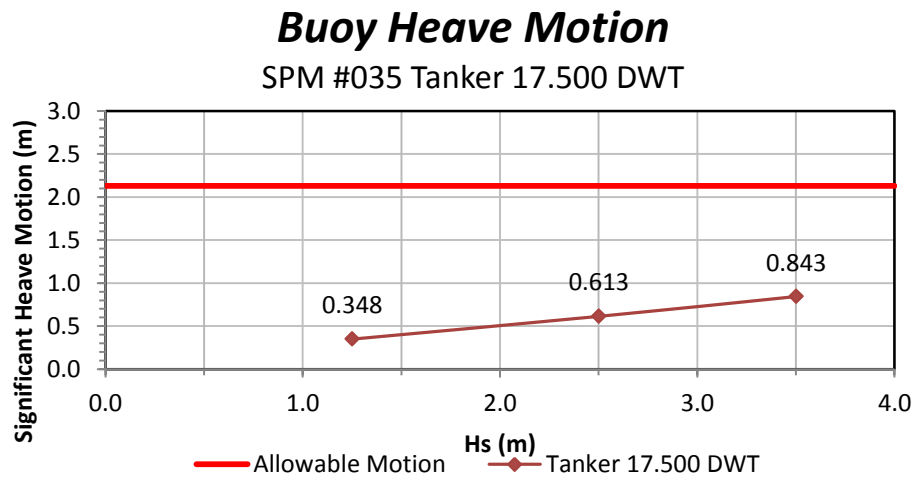
| No. | Mooring Line | Min. Allowable SF API RP 2SK 3 rd Edition | Hs (m) | | |
|-----|--------------|---|--------|-------|-------|
| | | | 1.25 | 2.5 | 3.5 |
| 1 | Line 1 SF | 1.67 | 7.113 | 5.349 | 4.399 |
| 2 | Line 2 SF | 1.67 | 6.113 | 4.309 | 3.441 |
| 3 | Line 3 SF | 1.67 | 8.554 | 6.936 | 6.029 |
| 4 | Line 4 SF | 1.67 | 8.136 | 7.170 | 6.421 |
| 5 | Line 5 SF | 1.67 | 6.802 | 5.013 | 4.086 |
| 6 | Line 6 SF | 1.67 | 9.207 | 7.803 | 6.867 |

Mengacu pada tabel 4.30., dapat disimpulkan bahwa jika ditinjau dari *tension* yang terjadi *buoy* masih dapat beroperasi dengan baik saat ditambat oleh tanker berukuran 17.500 DWT hingga tinggi gelombang signifikan 3.5 m. Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap gerakan dari *buoy* pada variasi nilai H_s tertentu.

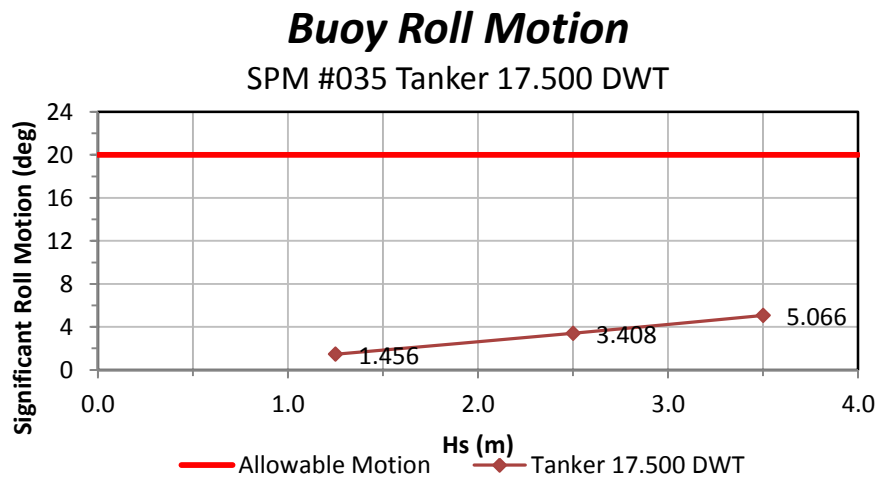
Tabel 4.31. *Significant motion* SPM IMODCO dengan tertambat tanker 17.500 DWT pada variasi H_s

| No. | Motion | Hs (m) | | | Not Operable (%) | | |
|-----|-------------------------|--------|--------|--------|------------------|-------|-------|
| | | 1.25 | 2.5 | 3.5 | 1.25 | 2.5 | 3.5 |
| 1 | Significant Heave (m) | 0.348 | 0.613 | 0.843 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | Significant Roll (deg) | 1.456 | 3.408 | 5.066 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 3 | Significant Pitch (deg) | 6.312 | 11.606 | 15.232 | 0.000 | 0.000 | 0.431 |

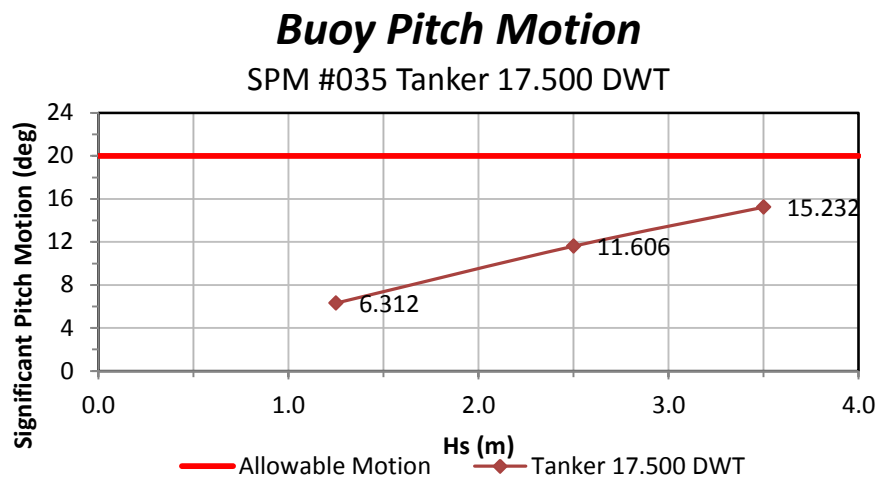
Mengacu pada tabel 4.31, untuk mendapatkan gambaran yang lebih baik mengenai perbandingan nilai signifikan dan *allowable movement* kemudian diplotkan grafik perbandingan antara nilai-nilai signifikan gerakan yang terjadi pada masing-masing variasi *Hs* dengan *allowable movement* untuk tiap moda gerak seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.57. – 4.59



Gambar 4.57. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *heave* untuk tanker 17.500 DWT

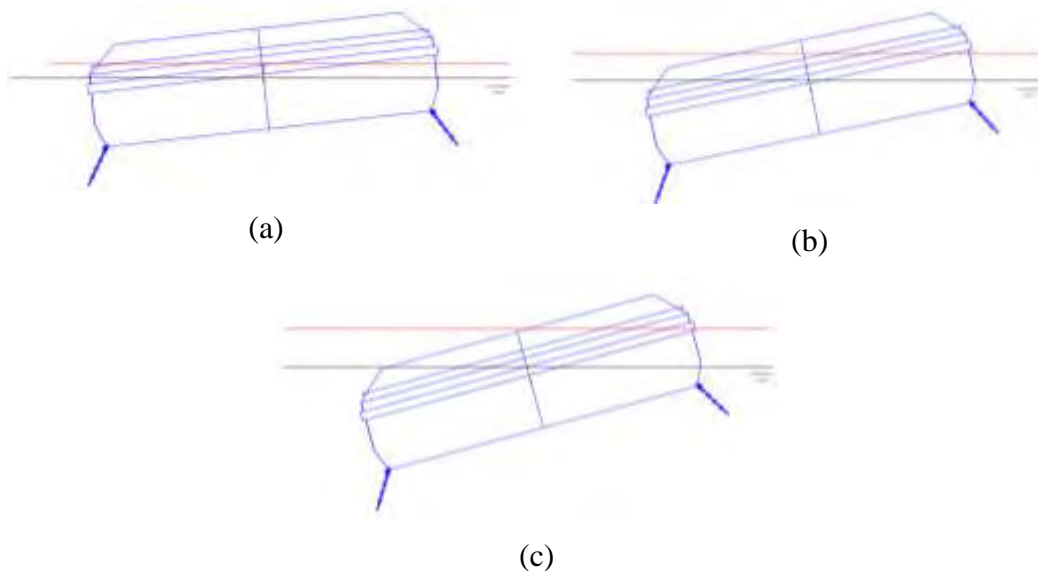


Gambar 4.58. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *roll* untuk tanker 17.500 DWT



Gambar 4.59. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *pitch* untuk tanker 17.500 DWT

Jika dilihat dari nilai-nilai signifikan serta presentase *not operable* seluruh moda gerak, dapat disimpulkan bahwa *buoy* dapat beroperasi dengan baik hingga H_s 3.5 m. Namun demikian sama halnya dengan kasus sebelumnya, pergerakan *buoy* tidak bisa hanya ditinjau dari *single motion*. Pada gambar 4.60. diilustrasikan, ketika nilai-nilai signifikan dari *heave* dan *pitch* terjadi pada waktu yang bersamaan.



Gambar 4.60. Nilai *heave* dan *pitch* signifikan ketika terjadi bersamaan H_s 1.25 m (a), 2.5 m (b), dan 3.5 m (c) untuk tanker 17.500 DWT

Garis merah pada ilustrasi merupakan asumsi amplitudo gelombang sementara garis hitam adalah asumsi MSL. Dari ilustrasi tersebut dapat dilihat bahwa walaupun nilai-nilai yang ada masih jauh di bawah *allowable motion*, ketika terjadi pada waktu yang bersamaan *buoy* pada H_s 2.5 m dan 3.5 m telah tercelup ke dalam air. Karenanya, diperlukan analisis lebih lanjut ketika gerakan tersebut terjadi pada waktu bersamaan. Dalam hal ini, yang ditinjau adalah gerakan *heave* dan rotasional yang lebih dominan yaitu *pitch*. Dengan mengacu pada kriteria operasi dalam tabel 4.23 maka didapatkan nilai seperti pada tabel 4.32.

Tabel 4.32. Nilai presentase *not operable* tanker 17.500 DWT

| SPM | Tanker | Hs (m) | <i>Not Operable</i> (%) |
|------|------------|--------|-------------------------|
| #035 | 17.500 DWT | 1.25 | 0.00 |
| | | 2.5 | 9.10 |
| | | 3.5 | 76.91 |

Mengacu pada tabel 4.32. maka dapat disimpulkan bahwa *buoy* tidak dapat beroperasi dengan kapal tertambat 17.500 DWT pada H_s 3.5 m.

4.6.2.2. Tanker Kapasitas 35.000 DWT

Dalam analisis ini terdapat 4 aspek yang perlu ditinjau, yaitu *tension* pada *mooring line*, gerakan signifikan *heave*, *roll*, dan *pitch*. Berikut hasil simulasi *time domain* dengan variasi tinggi gelombang signifikan untuk tanker kapasitas 35.000 DWT.

Tabel 4.33. *SF* untuk *Significant tension* pada *mooring line* SPM IMODCO dengan tertambat tanker 35.000 DWT pada variasi H_s

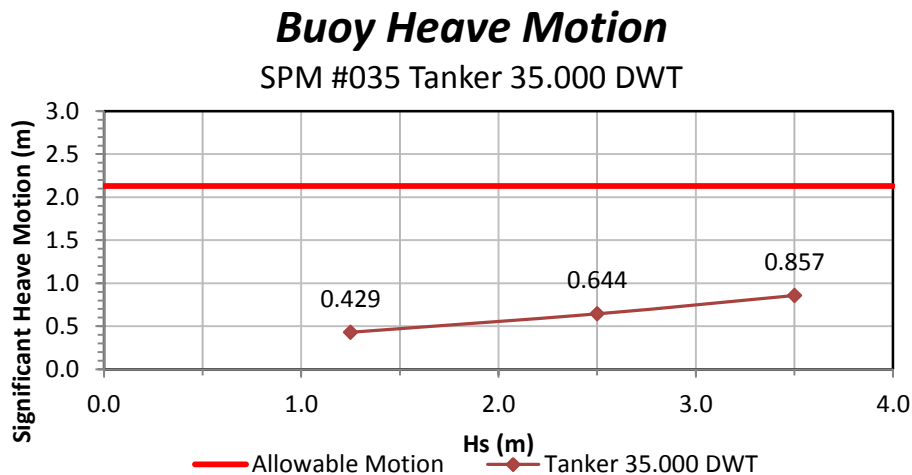
| No. | <i>Mooring Line</i> | <i>Min. Allowable SF API RP 2SK 3rd Edition</i> | Hs (m) | | |
|-----|---------------------|--|---------------|------------|------------|
| | | | 1.25 | 2.5 | 3.5 |
| 1 | <i>Line 1 SF</i> | 1.67 | 7.071 | 5.481 | 4.651 |
| 2 | <i>Line 2 SF</i> | 1.67 | 9.557 | 8.604 | 7.792 |
| 3 | <i>Line 3 SF</i> | 1.67 | 7.473 | 5.558 | 4.584 |
| 4 | <i>Line 4 SF</i> | 1.67 | 6.298 | 4.784 | 4.010 |
| 5 | <i>Line 5 SF</i> | 1.67 | 9.933 | 8.953 | 8.041 |
| 6 | <i>Line 6 SF</i> | 1.67 | 8.426 | 6.379 | 5.319 |

Mengacu pada tabel 4.33., dapat disimpulkan bahwa jika ditinjau dari *tension* yang terjadi *buoy* masih dapat beroperasi dengan baik saat ditambah oleh tanker berukuran 35.000 DWT hingga tinggi gelombang signifikan 3.5 m. Selanjutnya dilakukan evaluasi terhadap gerakan dari *buoy* pada variasi nilai H_s tertentu.

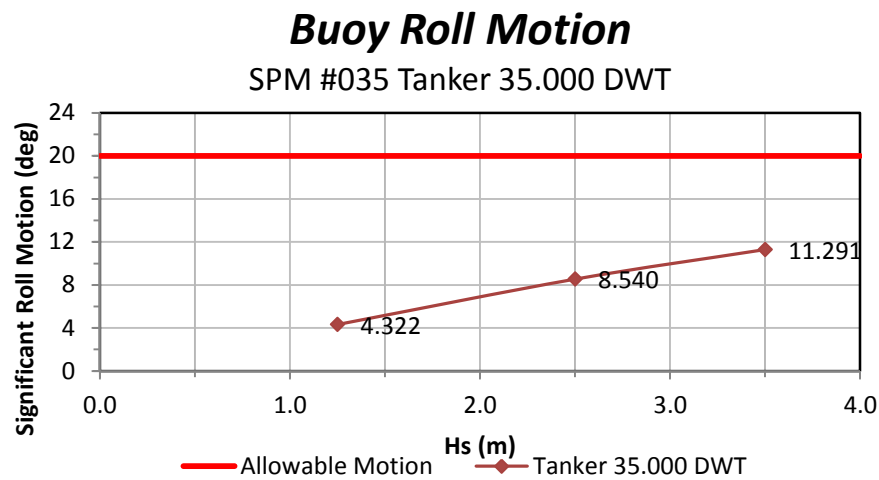
Tabel 4.34. *Significant motion* SPM IMODCO dengan tertambat tanker 35.000 DWT pada variasi H_s

| No. | Motion | Hs (m) | | | Not Operable (%) | | |
|-----|-------------------------|--------|-------|--------|------------------|-------|-------|
| | | 1.25 | 2.5 | 3.5 | 1.25 | 2.5 | 3.5 |
| 1 | Significant Heave (m) | 0.429 | 0.644 | 0.857 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| 2 | Significant Roll (deg) | 4.322 | 8.540 | 11.291 | 0.000 | 0.000 | 0.040 |
| 3 | Significant Pitch (deg) | 0.644 | 2.503 | 3.991 | 0.000 | 0.000 | 0.001 |

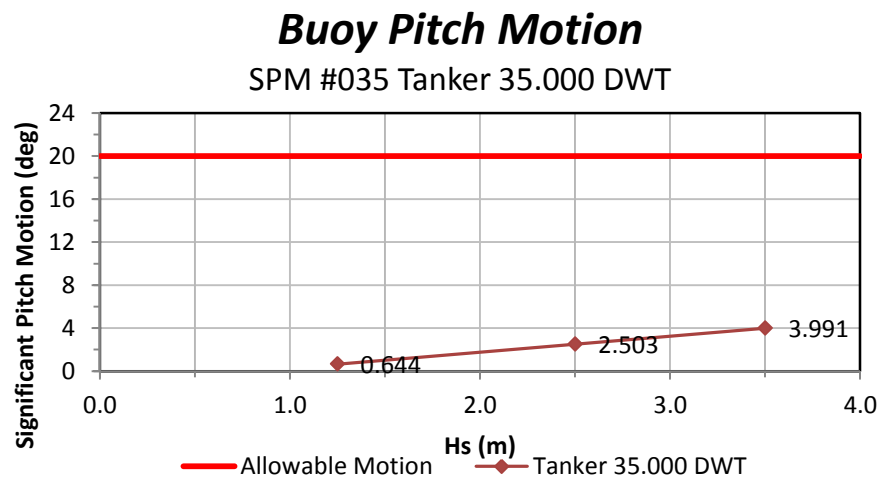
Mengacu pada tabel 4.34, kemudian didapatkan grafik perbandingan antara nilai-nilai signifikan gerakan yang terjadi pada masing-masing variasi H_s dengan *allowable movement* untuk tiap moda gerak seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.61. – 4.63



Gambar 4.61. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *heave* untuk tanker 35.000 DWT

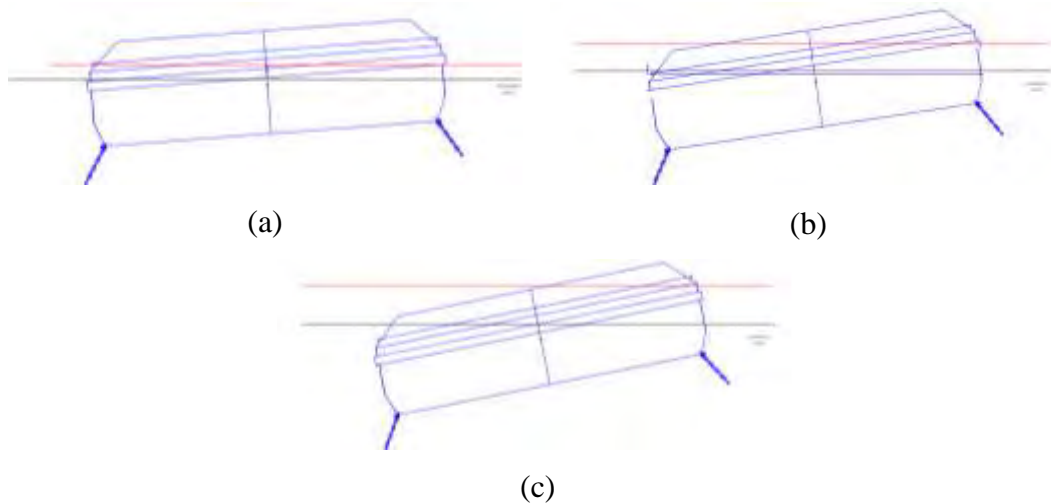


Gambar 4.62. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *roll* untuk tanker 35.000 DWT



Gambar 4.63. Grafik antara nilai-nilai signifikan gerakan *pitch* untuk tanker 35.000 DWT

Jika dilihat dari nilai-nilai signifikan serta presentase *not operable* seluruh moda gerak, dapat disimpulkan bahwa *buoy* dapat beroperasi dengan baik hingga *Hs* 3.5 m. Namun demikian sama halnya dengan kasus sebelumnya, pergerakan *buoy* tidak bisa hanya ditinjau dari *single motion*. Pada gambar 4.64. diilustrasikan, ketika nilai-nilai signifikan dari *heave* dan *roll* terjadi pada waktu yang bersamaan.



Gambar 4.64. Nilai *heave* dan *roll* signifikan ketika terjadi bersamaan H_s 1.25 m (a), 2.5 m (b), dan 3.5 m (c) untuk tanker 35.000 DWT

Garis merah pada ilustrasi merupakan asumsi amplitudo gelombang sementara garis hitam adalah asumsi MSL. Dari ilustrasi tersebut dapat dilihat bahwa walaupun nilai-nilai yang ada masih jauh di bawah *allowable motion*, ketika terjadi pada waktu yang bersamaan *buoy* pada H_s 2.5 dan 3.5 m telah tercelup ke dalam air. Karenanya, diperlukan analisis lebih lanjut ketika gerakan tersebut terjadi pada waktu bersamaan. Dalam hal ini, yang ditinjau adalah gerakan *heave* dan rotasional yang lebih dominan yaitu *pitch*. Dengan mengacu pada kriteria operasi dalam tabel 4.23 maka didapatkan nilai seperti pada tabel 4.35.

Tabel 4.35. Nilai presentase *not operable* tanker 35.000 DWT

| SPM | Tanker | H_s (m) | <i>Not Operable</i> (%) |
|------|------------|-----------|-------------------------|
| #035 | 35.000 DWT | 1.25 | 0.00 |
| | | 2.5 | 7.26 |
| | | 3.5 | 66.17 |

Mengacu pada tabel 4.35. maka dapat disimpulkan bahwa *buoy* tidak dapat beroperasi dengan kapal tertambat 35.000 DWT pada H_s 3.5 m.

4.7. Analisis Downtime dan Operabilitas

Setelah didapatkan nilai signifikan gerakan *buoy* dan nilai *tension* pada *mooring line*, selanjutnya dilakukan perbandingan dengan data sebaran gelombang pada lokasi operasi. Data sebaran gelombang pada lokasi Terminal Transfer Utama Tuban dapat dilihat pada tabel 4.36.

Tabel 4.36. *Wave scatter diagram* yang digunakan sebagai acuan

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|
| | 0.0-2.0 | 2.0-4.0 | 4.0-6.0 | 6.0-8.0 | 8.0-10.0 | Total |
| 0.00 - 0.25 | 17759 | 3879 | 0 | 0 | 0 | 21638 |
| 0.25 - 0.50 | 405 | 12719 | 0 | 0 | 0 | 13124 |
| 0.50 - 0.75 | 0 | 4371 | 5398 | 0 | 0 | 9769 |
| 0.75 - 1.00 | 0 | 77 | 6882 | 0 | 0 | 6959 |
| 1.00 - 1.25 | 0 | 1 | 8176 | 25 | 0 | 8202 |
| 1.25 - 1.50 | 0 | 0 | 1510 | 2731 | 0 | 4241 |
| 1.50 - 1.75 | 0 | 0 | 20 | 1711 | 0 | 1731 |
| 1.57-2.00 | 0 | 0 | 3 | 720 | 0 | 723 |
| 2.00 - 2.25 | 0 | 0 | 0 | 357 | 3 | 360 |
| 2.25 - 2.50 | 0 | 0 | 0 | 158 | 82 | 240 |
| 2.50 - 2.75 | 0 | 0 | 0 | 5 | 37 | 42 |
| 2.75 - 3.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 20 |
| 3.00 - 3.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 |
| 3.25 - 3.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| Total | 18164 | 21047 | 21989 | 5707 | 152 | 67059 |

Dari hasil simulasi untuk masing-masing tanker pada variasi tinggi gelombang signifikan maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Dari semua simulasi yang dilakukan, tidak ada kasus yang memiliki nilai *tension mooring line* melebihi batas izin dengan *safety factor* 1.67.
2. Pada analisis gerakan *single motion*, semua sistem dinyatakan *operable* hingga *Hs* 3.5 m. Namun pada analisis gerakan *coupling*, beberapa sistem telah dinyatakan *not operable*.

Melihat fakta-fakta tersebut, maka dengan menggunakan persamaan 2.26 dan 2.27 bisa didapatkan nilai operabilitas untuk masing-masing ukuran tanker.

- **Tanker 150.000 DWT pada lokasi SPM #150**

Tabel 4.37. *Wave scatter diagram* untuk tanker 150.000 DWT

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|
| | 0.0-2.0 | 2.0-4.0 | 4.0-6.0 | 6.0-8.0 | 8.0-10.0 | Total |
| 0.00 - 0.25 | 17759 | 3879 | 0 | 0 | 0 | 21638 |
| 0.25 - 0.50 | 405 | 12719 | 0 | 0 | 0 | 13124 |
| 0.50 - 0.75 | 0 | 4371 | 5398 | 0 | 0 | 9769 |
| 0.75 - 1.00 | 0 | 77 | 6882 | 0 | 0 | 6959 |
| 1.00 - 1.25 | 0 | 1 | 8176 | 25 | 0 | 8202 |
| 1.25 - 1.50 | 0 | 0 | 1510 | 2731 | 0 | 4241 |
| 1.50 - 1.75 | 0 | 0 | 20 | 1711 | 0 | 1731 |
| 1.57-2.00 | 0 | 0 | 3 | 720 | 0 | 723 |
| 2.00 - 2.25 | 0 | 0 | 0 | 357 | 3 | 360 |
| 2.25 - 2.50 | 0 | 0 | 0 | 158 | 82 | 240 |
| 2.50 - 2.75 | 0 | 0 | 0 | 5 | 37 | 42 |
| 2.75 - 3.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 20 |
| 3.00 - 3.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 |
| 3.25 - 3.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| Total | 18164 | 21047 | 21989 | 5707 | 152 | 67059 |

$$Downtime = \left(\frac{Na}{Na + Nd} \right) \times 100\%$$

$$Downtime = \left(\frac{72}{72 + 66987} \right) \times 100\%$$

$$Downtime = 0.107\%$$

$$Operable = 100\% - Downtime$$

$$Operable = 100\% - 0.107\%$$

$$Operable = 99.893\%$$

- **Tanker 100.000 DWT pada lokasi SPM #150**

Tabel 4.38. *Wave scatter diagram* untuk tanker 100.000 DWT

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|
| | 0.0-2.0 | 2.0-4.0 | 4.0-6.0 | 6.0-8.0 | 8.0-10.0 | Total |
| 0.00 - 0.25 | 17759 | 3879 | 0 | 0 | 0 | 21638 |
| 0.25 - 0.50 | 405 | 12719 | 0 | 0 | 0 | 13124 |
| 0.50 - 0.75 | 0 | 4371 | 5398 | 0 | 0 | 9769 |
| 0.75- 1.00 | 0 | 77 | 6882 | 0 | 0 | 6959 |
| 1.00 - 1.25 | 0 | 1 | 8176 | 25 | 0 | 8202 |
| 1.25 - 1.50 | 0 | 0 | 1510 | 2731 | 0 | 4241 |
| 1.50 - 1.75 | 0 | 0 | 20 | 1711 | 0 | 1731 |
| 1.57-2.00 | 0 | 0 | 3 | 720 | 0 | 723 |
| 2.00 - 2.25 | 0 | 0 | 0 | 357 | 3 | 360 |
| 2.25 - 2.50 | 0 | 0 | 0 | 158 | 82 | 240 |
| 2.50 - 2.75 | 0 | 0 | 0 | 5 | 37 | 42 |
| 2.75 - 3.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 20 |
| 3.00 - 3.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 |
| 3.25 - 3.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| Total | 18164 | 21047 | 21989 | 5707 | 152 | 67059 |

$$Downtime = \left(\frac{Na}{Na + Nd} \right) \times 100\%$$

$$Downtime = \left(\frac{72}{72 + 66987} \right) \times 100\%$$

$$Downtime = 0.107\%$$

$$Operable = 100\% - Downtime$$

$$Operable = 100\% - 0.107\%$$

$$Operable = 99.893\%$$

- **Tanker 35.000 DWT pada lokasi SPM #035**

Tabel 4.39. *Wave scatter diagram* untuk tanker 35.000 DWT

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|
| | 0.0-2.0 | 2.0-4.0 | 4.0-6.0 | 6.0-8.0 | 8.0-10.0 | Total |
| 0.00 - 0.25 | 17759 | 3879 | 0 | 0 | 0 | 21638 |
| 0.25 - 0.50 | 405 | 12719 | 0 | 0 | 0 | 13124 |
| 0.50 - 0.75 | 0 | 4371 | 5398 | 0 | 0 | 9769 |
| 0.75 - 1.00 | 0 | 77 | 6882 | 0 | 0 | 6959 |
| 1.00 - 1.25 | 0 | 1 | 8176 | 25 | 0 | 8202 |
| 1.25 - 1.50 | 0 | 0 | 1510 | 2731 | 0 | 4241 |
| 1.50 - 1.75 | 0 | 0 | 20 | 1711 | 0 | 1731 |
| 1.57-2.00 | 0 | 0 | 3 | 720 | 0 | 723 |
| 2.00 - 2.25 | 0 | 0 | 0 | 357 | 3 | 360 |
| 2.25 - 2.50 | 0 | 0 | 0 | 158 | 82 | 240 |
| 2.50 - 2.75 | 0 | 0 | 0 | 5 | 37 | 42 |
| 2.75 - 3.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 20 |
| 3.00 - 3.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 |
| 3.25 - 3.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| Total | 18164 | 21047 | 21989 | 5707 | 152 | 67059 |

$$Downtime = \left(\frac{Na}{Na + Nd} \right) \times 100\%$$

$$Downtime = \left(\frac{3}{3 + 67056} \right) \times 100\%$$

$$Downtime = 0.004\%$$

$$Operable = 100\% - Downtime$$

$$Operable = 100\% - 0.004\%$$

$$Operable = 99.996\%$$

- **Tanker 17.500 DWT pada lokasi SPM #035**

Tabel 4.40. *Wave scatter diagram* untuk tanker 17.500 DWT

| Hs (m) | Tp (s) | | | | | |
|-------------|---------|---------|---------|---------|----------|-------|
| | 0.0-2.0 | 2.0-4.0 | 4.0-6.0 | 6.0-8.0 | 8.0-10.0 | Total |
| 0.00 - 0.25 | 17759 | 3879 | 0 | 0 | 0 | 21638 |
| 0.25 - 0.50 | 405 | 12719 | 0 | 0 | 0 | 13124 |
| 0.50 - 0.75 | 0 | 4371 | 5398 | 0 | 0 | 9769 |
| 0.75- 1.00 | 0 | 77 | 6882 | 0 | 0 | 6959 |
| 1.00 - 1.25 | 0 | 1 | 8176 | 25 | 0 | 8202 |
| 1.25 - 1.50 | 0 | 0 | 1510 | 2731 | 0 | 4241 |
| 1.50 - 1.75 | 0 | 0 | 20 | 1711 | 0 | 1731 |
| 1.57-2.00 | 0 | 0 | 3 | 720 | 0 | 723 |
| 2.00 - 2.25 | 0 | 0 | 0 | 357 | 3 | 360 |
| 2.25 - 2.50 | 0 | 0 | 0 | 158 | 82 | 240 |
| 2.50 - 2.75 | 0 | 0 | 0 | 5 | 37 | 42 |
| 2.75 - 3.00 | 0 | 0 | 0 | 0 | 20 | 20 |
| 3.00 - 3.25 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7 | 7 |
| 3.25 - 3.50 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 3 |
| Total | 18164 | 21047 | 21989 | 5707 | 152 | 67059 |

$$Downtime = \left(\frac{Na}{Na + Nd} \right) \times 100\%$$

$$Downtime = \left(\frac{3}{3 + 67056} \right) \times 100\%$$

$$Downtime = 0.004\%$$

$$Operable = 100\% - Downtime$$

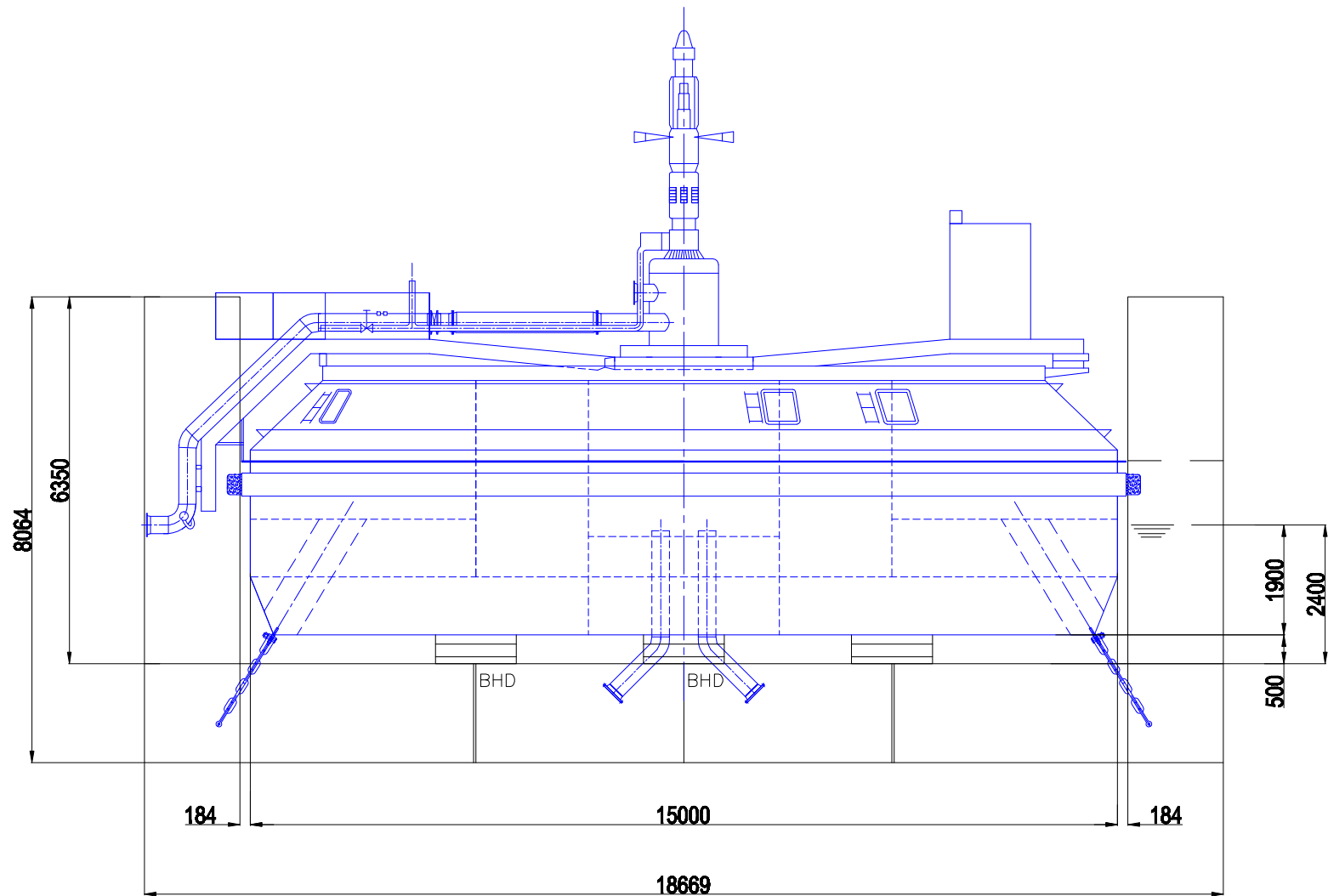
$$Operable = 100\% - 0.004\%$$

$$Operable = 99.996\%$$

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN A-1
SKETSA SPM IMODCO

SIMULASI DOCKING SBM IMODCO 100K ARUBAI



LAMPIRAN A-2
INPUT PEMODELAN BUOY PADA
SOFTWARE HYDROSTAR

Input Pemodelan *Buoy* pada *Software HydroSTAR*

TYPE 1

SYMMETRY 1

ZFSURFACE 1.9

| | | | | |
|------|---|-------|-------|-------|
| NODE | 1 | 0.000 | 0.000 | 0.000 |
| NODE | 2 | 0.000 | 0.000 | 0.990 |
| NODE | 3 | 0.000 | 0.000 | 2.385 |
| NODE | 4 | 0.000 | 0.000 | 2.785 |
| NODE | 5 | 0.000 | 0.000 | 3.180 |
| NODE | 6 | 0.000 | 0.000 | 4.030 |

| | | | |
|------|----|-------|------|
| RULE | 0 | 0.00 | 0.00 |
| RULE | 10 | -0.95 | 0.00 |
| RULE | 99 | -0.95 | 0.95 |

CIRCYL CTR 1 1 RAD 0.000 7.100 ANG 0.0 180.0 C_NB 18 C_RULE 0 H_NB 40 H_RULE 99
CIRCYL CTR 1 2 RAD 7.100 7.500 ANG 0.0 180.0 C_NB 18 C_RULE 0 H_NB 40 H_RULE 99
CIRCYL CTR 2 3 RAD 7.500 7.500 ANG 0.0 180.0 C_NB 18 C_RULE 0 H_NB 40 H_RULE 99
CIRCYL CTR 3 3 RAD 7.500 7.700 ANG 0.0 180.0 C_NB 18 C_RULE 0 H_NB 40 H_RULE 99
CIRCYL CTR 3 4 RAD 7.700 7.700 ANG 0.0 180.0 C_NB 18 C_RULE 0 H_NB 40 H_RULE 99
CIRCYL CTR 4 4 RAD 7.700 7.500 ANG 0.0 180.0 C_NB 18 C_RULE 0 H_NB 40 H_RULE 99
CIRCYL CTR 4 5 RAD 7.500 7.500 ANG 0.0 180.0 C_NB 18 C_RULE 0 H_NB 40 H_RULE 99
CIRCYL CTR 5 6 RAD 7.500 6.250 ANG 0.0 180.0 C_NB 18 C_RULE 0 H_NB 40 H_RULE 99

ENDFILE

LAMPIRAN A-3
INPUT PEMODELAN TANKER PADA
SOFTWARE HYDROSTAR

Input pemodelan tanker pada software HydroSTAR

| Tanker 150.000 DWT | | | Tanker 100.000 DWT | | | Tanker 35.000 DWT | | | Tanker 17.500 DWT | | | Number of station |
|--------------------|--------|----|--------------------|--------|----|-------------------|--------|----|-------------------|--------|----|----------------------------|
| 150DWT | | | 100DWT | | | 35DWT | | | 17DWT | | | |
| 262 | 47 | 46 | 231 | 42 | 41 | 171 | 28 | 43 | 145 | 24 | 45 | |
| -5.267 | 6 | | -8.236 | 4 | | -5.795 | 6 | | -3.572 | 5 | | X coordinate |
| 0 | 12.705 | 0 | 0 | 11.766 | 0 | 0 | 8.507 | 0 | 0 | 6.629 | 0 | Number of point in station |
| 2.019 | 13.397 | 0 | 4.308 | 14.703 | 0 | 1.203 | 8.97 | 0 | 2.187 | 8 | 0 | |
| 4.217 | 15.145 | 0 | 5.073 | 15.644 | 0 | 2.512 | 10.141 | 0 | 4 | 10.541 | 0 | Y coordinate |
| 5.837 | 16.978 | 0 | 7.657 | 19.872 | 0 | 3.477 | 11.368 | 0 | 4.376 | 11.196 | 0 | |
| 7.175 | 19.058 | 0 | | | | 4.274 | 12.761 | 0 | | | | Z coordinate |
| 8.569 | 21.458 | 0 | -5.126 | 7 | | 5.105 | 14.368 | 0 | -1.642 | 5 | | |
| | | | 0 | 10.922 | 0 | | | | 0 | 6.152 | 0 | |
| -2.109 | 6 | | 3 | 11.989 | 0 | -2.842 | 8 | | 0 | 6.911 | 0 | |
| 0 | 11.793 | 0 | 3.021 | 12 | 0 | 0 | 7.893 | 0 | 2 | 6.318 | 0 | |
| 0.827 | 12 | 0 | 6 | 14.288 | 0 | 0.391 | 8 | 0 | 3.381 | 8 | 0 | |
| 4 | 13.3 | 0 | 6.263 | 14.578 | 0 | 2 | 8.663 | 0 | 4 | 8.727 | 0 | |
| 8 | 16.949 | 0 | 9 | 18.601 | 0 | 3.705 | 10 | 0 | 5.549 | 11.196 | 0 | |
| 8.038 | 17 | 0 | 9.71 | 19.872 | 0 | 4 | 10.321 | 0 | 0 | 7 | | |
| 10.861 | 21.458 | 0 | | | | 5.006 | 11.7 | 0 | 0 | 5.678 | 0 | |
| | | | -1.318 | 8 | | 6 | 13.434 | 0 | 1.188 | 6 | 0 | |
| 0 | 7 | | 0 | 9.748 | 0 | 6.481 | 14.368 | 0 | 2 | 6.318 | 0 | |
| 0 | 11.106 | 0 | 3 | 10.621 | 0 | | | | 4 | 7.621 | 0 | |
| 3.06 | 12 | 0 | 5.74 | 12 | 0 | 0 | 8 | | 4.381 | 8 | 0 | |
| 4 | 12.403 | 0 | 6 | 12.165 | 0 | 0 | 7.217 | 0 | 6 | 10.272 | 0 | |
| 8 | 15.177 | 0 | 8.727 | 14.578 | 0 | 2 | 7.859 | 0 | 6.508 | 11.196 | 0 | |
| 9.554 | 17 | 0 | 9 | 14.907 | 0 | 2.308 | 8 | 0 | 0.557 | 10 | | |
| 12 | 20.849 | 0 | 12 | 19.683 | 0 | 4 | 9.037 | 0 | 0 | 1.799 | 0 | |
| 12.336 | 21.458 | 0 | 12.096 | 19.872 | 0 | 5.058 | 10 | 0 | 0.345 | 2 | 0 | |
| | | | 0 | 8 | | 6 | 11.201 | 0 | 0 | 2.366 | 0 | |
| 4.163 | 18 | | 0 | 9.331 | 0 | 6.329 | 11.7 | 0 | 0 | 5.479 | 0 | |
| 0 | 3.508 | 0 | 3 | 10.186 | 0 | 7.767 | 14.368 | 0 | 1.681 | 6 | 0 | |
| 0.194 | 3.508 | 0 | 6 | 11.619 | 0 | | | | 2 | 6.132 | 0 | |
| 0.4 | 3.587 | 0 | 6.618 | 12 | 0 | 4.512 | 21 | | 4 | 7.333 | 0 | |
| 0.565 | 3.696 | 0 | 9 | 14.011 | 0 | 0 | 2.303 | 0 | 4.705 | 8 | 0 | |
| 0.679 | 3.857 | 0 | 9.501 | 14.578 | 0 | 0 | 2.304 | 0 | 6 | 9.738 | 0 | |
| 0.705 | 4.052 | 0 | 12 | 18.236 | 0 | 0.116 | 2.304 | 0 | 6.822 | 11.196 | 0 | |
| 0.683 | 4.227 | 0 | 12.873 | 19.872 | 0 | 0.238 | 2.356 | 0 | 0.752 | 10 | | |
| 0.596 | 4.378 | 0 | | | | 0.337 | 2.43 | 0 | 0 | 1.491 | 0 | |
| 0.429 | 4.513 | 0 | | | | 0.405 | 2.537 | 0 | 0.397 | 2 | 0 | |
| 0 | 4.595 | 0 | 2.9 | 11 | | 0.42 | 2.667 | 0 | 0 | 2.526 | 0 | |
| 0.205 | 4.595 | 0 | 0 | 3.186 | 0 | 0.407 | 2.785 | 0 | 0 | 5.369 | 0 | |
| 0 | 9.185 | 0 | 0 | 4.192 | 0 | 0.355 | 2.886 | 0 | 1.843 | 6 | 0 | |
| 4 | 10.937 | 0 | 0 | 8.344 | 0 | 0.256 | 2.976 | 0 | 2 | 6.067 | 0 | |
| 6.411 | 12 | 0 | 2.182 | 9 | 0 | 0 | 3.031 | 0 | 4 | 7.24 | 0 | |
| 8 | 12.894 | 0 | 3 | 9.299 | 0 | 0.122 | 3.031 | 0 | 4.815 | 8 | 0 | |
| 12 | 16.665 | 0 | 6 | 10.562 | 0 | 0 | 6.031 | 0 | 6 | 9.565 | 0 | |
| 12.257 | 17 | 0 | 8.429 | 12 | 0 | 2 | 6.723 | 0 | 6.93 | 11.196 | 0 | |
| 15.032 | 21.458 | 0 | 9 | 12.45 | 0 | 4 | 7.635 | 0 | | | | |
| | | | 11.066 | 14.578 | 0 | 4.65 | 8 | 0 | | | | |
| 4.489 | 10 | | 12 | 15.788 | 0 | 6 | 9 | 0 | | | | |
| 0 | 2.919 | 0 | 14.479 | 19.872 | 0 | 6.949 | 10 | 0 | | | | |
| 0.781 | 4 | 0 | | | | 8 | 11.413 | 0 | 0.908 | 10 | | |
| 0 | 4.901 | 0 | | | | 8.188 | 11.7 | 0 | 0 | 1.281 | 0 | |
| 0 | 8.898 | 0 | | | | 9.654 | 14.368 | 0 | 0.435 | 2 | 0 | |
| 4 | 10.828 | 0 | | | | | | | 0 | 2.662 | 0 | |
| 6.656 | 12 | 0 | | | | | | | 0 | 5.159 | 0 | |
| 8 | 12.753 | 0 | | | | | | | 1.969 | 6 | 0 | |
| 12 | 16.425 | 0 | | | | | | | 2 | 6.013 | 0 | |
| 12.447 | 17 | 0 | | | | | | | 4 | 7.168 | 0 | |
| 15.23 | 21.458 | 0 | | | | | | | 4.902 | 8 | 0 | |
| | | | | | | | | | 6 | 9.432 | 0 | |
| | | | | | | | | | 7.015 | 11.196 | 0 | |

| Tanker 150.000 DWT | | | Tanker 100.000 DWT | | | Tanker 35.000 DWT | | | Tanker 17.500 DWT | | |
|--------------------|--------|---|--------------------|--------|---|-------------------|--------|---|-------------------|--------|---|
| 4.751 | 10 | | 3.342 | 12 | | 4.792 | 14 | | 1.027 | 10 | |
| 0 | 2.515 | 0 | 0 | 2.442 | 0 | 0 | 1.908 | 0 | 0 | 1.141 | 0 |
| 0.847 | 4 | 0 | 0.466 | 3 | 0 | 0.136 | 2 | 0 | 0.462 | 2 | 0 |
| 0 | 5.162 | 0 | 0 | 4.595 | 0 | 0 | 3.236 | 0 | 0 | 2.785 | 0 |
| 0 | 8.607 | 0 | 0 | 8.082 | 0 | 0 | 3.239 | 0 | 0 | 4.904 | 0 |
| 4 | 10.738 | 0 | 2.594 | 9 | 0 | 0 | 5.906 | 0 | 2 | 5.972 | 0 |
| 6.852 | 12 | 0 | 3 | 9.161 | 0 | 0.33 | 6 | 0 | 2.064 | 6 | 0 |
| 8 | 12.641 | 0 | 6 | 10.419 | 0 | 2 | 6.653 | 0 | 4 | 7.115 | 0 |
| 12 | 16.239 | 0 | 8.708 | 12 | 0 | 4 | 7.562 | 0 | 4.967 | 8 | 0 |
| 12.598 | 17 | 0 | 9 | 12.227 | 0 | 4.79 | 8 | 0 | 6 | 9.333 | 0 |
| 15.387 | 21.458 | 0 | 11.304 | 14.578 | 0 | 6 | 8.886 | 0 | 7.08 | 11.196 | 0 |
| | | | 12 | 15.471 | 0 | 7.064 | 10 | 0 | | | |
| 4.999 | 10 | | 14.71 | 19.872 | 0 | 8 | 11.251 | 0 | 1.162 | 10 | |
| 0 | 2.187 | 0 | | | | 8.297 | 11.7 | 0 | 0 | 1.003 | 0 |
| 0.909 | 4 | 0 | 3.657 | 12 | | 9.763 | 14.368 | 0 | 0.493 | 2 | 0 |
| 0 | 5.462 | 0 | 0 | 2.019 | 0 | | | | 0 | 2.961 | 0 |
| 0 | 8.25 | 0 | 0.609 | 3 | 0 | 5.051 | 13 | | 0 | 4.514 | 0 |
| 4 | 10.652 | 0 | 0 | 4.935 | 0 | 0 | 1.599 | 0 | 2 | 5.924 | 0 |
| 7.038 | 12 | 0 | 0 | 7.778 | 0 | 0.258 | 2 | 0 | 2.169 | 6 | 0 |
| 8 | 12.536 | 0 | 2.876 | 9 | 0 | 0 | 3.441 | 0 | 4 | 7.055 | 0 |
| 12 | 16.067 | 0 | 3 | 9.053 | 0 | 0 | 5.741 | 0 | 5.041 | 8 | 0 |
| 12.739 | 17 | 0 | 6 | 10.321 | 0 | 0.699 | 6 | 0 | 6 | 9.225 | 0 |
| 15.535 | 21.458 | 0 | 8.906 | 12 | 0 | 2 | 6.584 | 0 | 7.154 | 11.196 | 0 |
| | | | 9 | 12.072 | 0 | 4 | 7.496 | 0 | | | |
| 5.261 | 11 | | 11.474 | 14.578 | 0 | 4.919 | 8 | 0 | 1.343 | 11 | |
| 0 | 1.892 | 0 | 12 | 15.249 | 0 | 6 | 8.781 | 0 | 0 | 0.845 | 0 |
| 0.974 | 4 | 0 | 14.873 | 19.872 | 0 | 7.171 | 10 | 0 | 0.532 | 2 | 0 |
| 0 | 5.903 | 0 | | | | 8 | 11.102 | 0 | 0 | 3.587 | 0 |
| 0 | 7.709 | 0 | 3.957 | 13 | | 8.399 | 11.7 | 0 | 0 | 3.588 | 0 |
| 0.083 | 8 | 0 | 0 | 1.688 | 0 | 9.863 | 14.368 | 0 | 0.028 | 4 | 0 |
| 4 | 10.559 | 0 | 0.726 | 3 | 0 | | | | 2 | 5.857 | 0 |
| 7.236 | 12 | 0 | 0 | 5.406 | 0 | 5.229 | 13 | | 2.307 | 6 | 0 |
| 8 | 12.425 | 0 | 0 | 7.256 | 0 | 0 | 1.417 | 0 | 4 | 6.978 | 0 |
| 12 | 15.889 | 0 | 3 | 8.942 | 0 | 0.318 | 2 | 0 | 5.138 | 8 | 0 |
| 12.889 | 17 | 0 | 3.128 | 9 | 0 | 0 | 3.612 | 0 | 6 | 9.085 | 0 |
| 15.69 | 21.458 | 0 | 6 | 10.231 | 0 | 0 | 5.577 | 0 | 7.251 | 11.196 | 0 |
| | | | 9 | 11.929 | 0 | 0.91 | 6 | 0 | | | |
| 5.479 | 10 | | 9.093 | 12 | 0 | 2 | 6.533 | 0 | 1.559 | 12 | |
| 0 | 1.68 | 0 | 11.636 | 14.578 | 0 | 4 | 7.452 | 0 | 0 | 0.689 | 0 |
| 1.029 | 4 | 0 | 12 | 15.039 | 0 | 5.006 | 8 | 0 | 0.579 | 2 | 0 |
| 0 | 6.936 | 0 | 15 | 19.817 | 0 | 6 | 8.711 | 0 | 0.126 | 3.253 | 0 |
| 0.221 | 8 | 0 | 15.028 | 19.872 | 0 | 7.245 | 10 | 0 | 0.051 | 3.601 | 0 |
| 4 | 10.481 | 0 | | | | 8 | 11 | 0 | 0.066 | 3.825 | 0 |
| 7.401 | 12 | 0 | 4.166 | 13 | | 8.469 | 11.7 | 0 | 0.104 | 4 | 0 |
| 8 | 12.333 | 0 | 0 | 1.492 | 0 | 9.932 | 14.368 | 0 | 2 | 5.772 | 0 |
| 12 | 15.743 | 0 | 0.804 | 3 | 0 | | | | 2.468 | 6 | 0 |
| 13.013 | 17 | 0 | 0 | 6.36 | 0 | 5.453 | 14 | | 4 | 6.888 | 0 |
| 15.818 | 21.458 | 0 | 0.018 | 6 | 0 | 0 | 1.219 | 0 | 5.252 | 8 | 0 |
| | | | 3 | 8.863 | 0 | 0.388 | 2 | 0 | 6 | 8.926 | 0 |
| 5.842 | 13 | | 3.294 | 9 | 0 | 0 | 3.908 | 0 | 7.367 | 11.196 | 0 |
| 0 | 1.38 | 0 | 6 | 10.169 | 0 | 0 | 5.245 | 0 | | | |
| 1.123 | 4 | 0 | 9 | 11.834 | 0 | 1.125 | 6 | 0 | | | |
| 0.247 | 6.295 | 0 | 9.221 | 12 | 0 | 2 | 6.465 | 0 | | | |
| 0.133 | 6.976 | 0 | 11.749 | 14.578 | 0 | 4 | 7.397 | 0 | | | |
| 0.18 | 7.38 | 0 | 12 | 14.894 | 0 | 5.115 | 8 | 0 | | | |
| 0.44 | 8 | 0 | 15 | 19.606 | 0 | 6 | 8.625 | 0 | | | |
| 4 | 10.348 | 0 | 15.136 | 19.872 | 0 | 7.339 | 10 | 0 | | | |
| 7.677 | 12 | 0 | | | | 8 | 10.873 | 0 | | | |
| 8 | 12.179 | 0 | | | | 8.557 | 11.7 | 0 | | | |
| 12 | 15.503 | 0 | | | | 10 | 14.328 | 0 | | | |
| 13.219 | 17 | 0 | | | | 10.019 | 14.368 | 0 | | | |
| 16 | 21.404 | 0 | | | | | | | | | |
| 16.029 | 21.458 | 0 | | | | | | | | | |

| <i>Tanker 150.000 DWT</i> | | | <i>Tanker 100.000 DWT</i> | | | <i>Tanker 35.000 DWT</i> | | | <i>Tanker 17.500 DWT</i> | | |
|---------------------------|--------|---|---------------------------|--------|---|--------------------------|--------|---|--------------------------|--------|---|
| 6.256 | 13 | | 4.515 | 14 | | 5.639 | 14 | | 1.805 | 12 | |
| 0 | 1.09 | 0 | 0 | 1.214 | 0 | 0 | 1.077 | 0 | 0 | 0.537 | 0 |
| 1.227 | 4 | 0 | 0.925 | 3 | 0 | 0.444 | 2 | 0 | 0.631 | 2 | 0 |
| 0.601 | 5.559 | 0 | 0.2 | 6 | 0 | 0.065 | 4 | 0 | 0.307 | 2.87 | 0 |
| 0.29 | 7.022 | 0 | 0.218 | 6.417 | 0 | 0 | 4.598 | 0 | 0.11 | 3.616 | 0 |
| 0.64 | 7.953 | 0 | 0.221 | 5.766 | 0 | 1.273 | 6 | 0 | 0.172 | 4 | 0 |
| 0.673 | 8 | 0 | 3 | 8.741 | 0 | 2 | 6.408 | 0 | 0.2 | 4.082 | 0 |
| 4 | 10.195 | 0 | 3.545 | 9 | 0 | 4 | 7.352 | 0 | 2 | 5.663 | 0 |
| 7.989 | 12 | 0 | 6 | 10.074 | 0 | 5.204 | 8 | 0 | 2.647 | 6 | 0 |
| 8 | 12.006 | 0 | 9 | 11.699 | 0 | 6 | 8.556 | 0 | 4 | 6.788 | 0 |
| 12 | 15.232 | 0 | 9.408 | 12 | 0 | 7.416 | 10 | 0 | 5.38 | 8 | 0 |
| 13.454 | 17 | 0 | 11.933 | 14.578 | 0 | 8 | 10.769 | 0 | 6 | 8.754 | 0 |
| 16 | 20.965 | 0 | 12 | 14.662 | 0 | 8.631 | 11.7 | 0 | 7.497 | 11.196 | 0 |
| 16.265 | 21.458 | 0 | 15 | 19.272 | 0 | 10 | 14.175 | 0 | | | |
| | | | 15.31 | 19.872 | 0 | 10.091 | 14.368 | 0 | 2.069 | 12 | |
| 6.699 | 13 | | | | | | | | 0 | 0.405 | 0 |
| 0 | 0.817 | 0 | 4.912 | 14 | | 5.948 | 15 | | 0.685 | 2 | 0 |
| 1.331 | 4 | 0 | 0 | 0.946 | 0 | 0 | 0.876 | 0 | 0.518 | 2.47 | 0 |
| 1.014 | 4.793 | 0 | 1.036 | 3 | 0 | 0.536 | 2 | 0 | 0.176 | 3.632 | 0 |
| 0.465 | 7.072 | 0 | 0.538 | 5.085 | 0 | 0.177 | 4 | 0 | 0.248 | 4 | 0 |
| 0.895 | 8 | 0 | 0.406 | 6 | 0 | 0.148 | 4.169 | 0 | 0.413 | 4.344 | 0 |
| 1.641 | 8.706 | 0 | 0.472 | 6.481 | 0 | 0.147 | 4.64 | 0 | 2 | 5.548 | 0 |
| 4 | 10.034 | 0 | 3 | 8.596 | 0 | 1.442 | 6 | 0 | 2.836 | 6 | 0 |
| 8 | 11.828 | 0 | 3.829 | 9 | 0 | 2 | 6.319 | 0 | 4 | 6.683 | 0 |
| 8.317 | 12 | 0 | 6 | 9.964 | 0 | 4 | 7.283 | 0 | 5.514 | 8 | 0 |
| 12 | 14.944 | 0 | 9 | 11.553 | 0 | 5.334 | 8 | 0 | 6 | 8.58 | 0 |
| 13.706 | 17 | 0 | 9.618 | 12 | 0 | 6 | 8.458 | 0 | 7.635 | 11.196 | 0 |
| 16 | 20.516 | 0 | 12 | 14.406 | 0 | 7.54 | 10 | 0 | | | |
| 16.514 | 21.458 | 0 | 12.139 | 14.578 | 0 | 8 | 10.599 | 0 | 2.379 | 12 | |
| | | | 15 | 18.907 | 0 | 8.751 | 11.7 | 0 | 0 | 0.303 | 0 |
| 7.219 | 13 | | 15.507 | 19.872 | 0 | 10 | 13.932 | 0 | 0.744 | 1.991 | 0 |
| 0 | 0.559 | 0 | | | | 10.208 | 14.368 | 0 | 0.743 | 2 | 0 |
| 1.457 | 3.879 | 0 | 5.337 | 14 | | | | | 0.256 | 3.652 | 0 |
| 1.435 | 4 | 0 | 0 | 0.693 | 0 | 6.298 | 15 | | 0.339 | 4 | 0 |
| 0.679 | 7.13 | 0 | 1.129 | 3 | 0 | 0 | 0.683 | 0 | 0.758 | 4.635 | 0 |
| 1.158 | 8 | 0 | 0.907 | 4.375 | 0 | 0.63 | 2 | 0 | 2 | 5.44 | 0 |
| 4 | 9.851 | 0 | 0.624 | 6 | 0 | 0.358 | 3.678 | 0 | 3.056 | 6 | 0 |
| 4.739 | 10.183 | 0 | 0.75 | 6.548 | 0 | 0.293 | 4 | 0 | 4 | 6.562 | 0 |
| 8 | 11.633 | 0 | 3 | 8.435 | 0 | 0.317 | 4.687 | 0 | 5.668 | 8 | 0 |
| 8.687 | 12 | 0 | 4.13 | 9 | 0 | 1.634 | 6 | 0 | 6 | 8.388 | 0 |
| 12 | 14.609 | 0 | 6 | 9.845 | 0 | 2 | 6.214 | 0 | 7.795 | 11.196 | 0 |
| 14.002 | 17 | 0 | 9 | 11.404 | 0 | 4 | 7.203 | 0 | | | |
| 16 | 20.011 | 0 | 9.841 | 12 | 0 | 5.48 | 8 | 0 | 2.612 | 12 | |
| 16.803 | 21.458 | 0 | 12 | 14.14 | 0 | 6 | 8.351 | 0 | 0 | 0.249 | 0 |
| | | | 12.357 | 14.578 | 0 | 7.68 | 10 | 0 | 0.716 | 1.599 | 0 |
| 7.83 | 12 | | 15 | 18.531 | 0 | 8 | 10.413 | 0 | 0.764 | 2 | 0 |
| 0 | 0.339 | 0 | 15.716 | 19.872 | 0 | 8.887 | 11.7 | 0 | 0.319 | 3.666 | 0 |
| 1.319 | 2.712 | 0 | | | | 10 | 13.666 | 0 | 0.409 | 4 | 0 |
| 1.526 | 4 | 0 | 5.835 | 14 | | 10.34 | 14.368 | 0 | 1.087 | 4.844 | 0 |
| 0.944 | 7.198 | 0 | 0 | 0.454 | 0 | | | | 2 | 5.377 | 0 |
| 1.472 | 8 | 0 | 1.227 | 3 | 0 | | | | 3.218 | 6 | 0 |
| 4 | 9.647 | 0 | 1.302 | 3.529 | 0 | | | | 4 | 6.471 | 0 |
| 8 | 11.44 | 0 | 0.878 | 6 | 0 | | | | 5.783 | 8 | 0 |
| 9.066 | 12 | 0 | 1.086 | 6.626 | 0 | | | | 6 | 8.251 | 0 |
| 12 | 14.24 | 0 | 3 | 8.238 | 0 | | | | 7.914 | 11.196 | 0 |
| 14.345 | 17 | 0 | 4.48 | 9 | 0 | | | | | | |
| 16 | 19.454 | 0 | 6 | 9.701 | 0 | | | | | | |
| 17.135 | 21.458 | 0 | 9 | 11.236 | 0 | | | | | | |
| | | | 10.098 | 12 | 0 | | | | | | |
| | | | 12 | 13.842 | 0 | | | | | | |
| | | | 12.609 | 14.578 | 0 | | | | | | |
| | | | 15 | 18.108 | 0 | | | | | | |
| | | | 15.957 | 19.872 | 0 | | | | | | |

| Tanker 150.000 DWT | | | Tanker 100.000 DWT | | | Tanker 35.000 DWT | | | Tanker 17.500 DWT | | |
|--------------------|--------|---|--------------------|--------|---|-------------------|--------|---|-------------------|--------|---|
| 8.517 | 12 | | 6.391 | 14 | | 6.674 | 15 | | 2.831 | 13 | |
| 0 | 0.18 | 0 | 0 | 0.259 | 0 | 0 | 0.5 | 0 | 0 | 0.21 | 0 |
| 0.96 | 1.613 | 0 | 1.189 | 2.5 | 0 | 0.707 | 2 | 0 | 0.64 | 1.246 | 0 |
| 1.634 | 4 | 0 | 1.341 | 3 | 0 | 0.605 | 3.163 | 0 | 0.783 | 2 | 0 |
| 1.262 | 7.275 | 0 | 1.159 | 6 | 0 | 0.419 | 4 | 0 | 0.379 | 3.681 | 0 |
| 1.831 | 8 | 0 | 1.472 | 6.711 | 0 | 0.505 | 4.736 | 0 | 0.475 | 4 | 0 |
| 4 | 9.409 | 0 | 3 | 8.006 | 0 | 1.839 | 6 | 0 | 1.453 | 5.036 | 0 |
| 8 | 11.237 | 0 | 4.866 | 9 | 0 | 2 | 6.096 | 0 | 2 | 5.328 | 0 |
| 9.464 | 12 | 0 | 6 | 9.535 | 0 | 4 | 7.116 | 0 | 3.364 | 6 | 0 |
| 12 | 13.865 | 0 | 9 | 11.057 | 0 | 5.636 | 8 | 0 | 4 | 6.383 | 0 |
| 14.72 | 17 | 0 | 10.381 | 12 | 0 | 6 | 8.242 | 0 | 5.89 | 8 | 0 |
| 16 | 18.867 | 0 | 12 | 13.527 | 0 | 7.828 | 10 | 0 | 6 | 8.125 | 0 |
| 17.499 | 21.458 | 0 | 12.885 | 14.578 | 0 | 8 | 10.219 | 0 | 8 | 11.149 | 0 |
| | | | 15 | 17.658 | 0 | 9.031 | 11.7 | 0 | 8.024 | 11.196 | 0 |
| 8.942 | 12 | | 16.222 | 19.872 | 0 | 10 | 13.392 | 0 | | | |
| 0 | 0.117 | 0 | | | | 10.481 | 14.368 | 0 | 3.148 | 13 | |
| 0.655 | 0.898 | 0 | 12.158 | 15 | | | | | 0 | 0.166 | 0 |
| 1.705 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.112 | 15 | | 0.491 | 0.812 | 0 |
| 1.469 | 7.323 | 0 | 0.23 | 0 | 0 | 0 | 0.327 | 0 | 0.813 | 2 | 0 |
| 2.056 | 8 | 0 | 2.906 | 3 | 0 | 0.777 | 2 | 0 | 0.469 | 3.701 | 0 |
| 4 | 9.259 | 0 | 3 | 3.417 | 0 | 0.868 | 2.551 | 0 | 0.574 | 4 | 0 |
| 8 | 11.113 | 0 | 4.059 | 6 | 0 | 0.567 | 4 | 0 | 2 | 5.263 | 0 |
| 9.708 | 12 | 0 | 6 | 7.506 | 0 | 0.73 | 4.792 | 0 | 2.09 | 5.311 | 0 |
| 12 | 13.65 | 0 | 6.024 | 7.522 | 0 | 2 | 5.952 | 0 | 3.56 | 6 | 0 |
| 14.948 | 17 | 0 | 8.562 | 9 | 0 | 2.078 | 6 | 0 | 4 | 6.256 | 0 |
| 16 | 18.519 | 0 | 9 | 9.261 | 0 | 4 | 7.011 | 0 | 6 | 7.947 | 0 |
| 17.721 | 21.458 | 0 | 12 | 11.238 | 0 | 5.817 | 8 | 0 | 6.047 | 8 | 0 |
| | | | 12.942 | 12 | 0 | 6 | 8.121 | 0 | 8 | 10.853 | 0 |
| 9.501 | 11 | | 15 | 14.168 | 0 | 7.998 | 10 | 0 | 8.181 | 11.196 | 0 |
| 0 | 0.068 | 0 | 15.32 | 14.578 | 0 | 8 | 10.003 | 0 | | | |
| 1.802 | 4 | 0 | 18 | 18.812 | 0 | 9.196 | 11.7 | 0 | 7.632 | 14 | |
| 1.756 | 7.386 | 0 | 18.556 | 19.872 | 0 | 10 | 13.085 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2.356 | 8 | 0 | | | | 10.642 | 14.368 | 0 | 0.03 | 0 | 0 |
| 4 | 9.058 | 0 | 24.316 | 15 | | | | | 0.045 | 0 | 0 |
| 8 | 10.95 | 0 | 0 | 0 | 0 | 7.624 | 15 | | 1.414 | 2 | 0 |
| 10.025 | 12 | 0 | 2.719 | 0 | 0 | 0 | 0.181 | 0 | 2 | 3.702 | 0 |
| 12 | 13.386 | 0 | 3 | 0.023 | 0 | 0.786 | 1.771 | 0 | 2.316 | 4 | 0 |
| 15.243 | 17 | 0 | 6 | 0.652 | 0 | 0.853 | 2 | 0 | 2.399 | 4.069 | 0 |
| 16 | 18.079 | 0 | 8.242 | 3 | 0 | 0.739 | 4 | 0 | 4 | 5.021 | 0 |
| 18.008 | 21.458 | 0 | 9 | 3.98 | 0 | 1.003 | 4.857 | 0 | 5.759 | 6 | 0 |
| | | | 11.055 | 6 | 0 | 2 | 5.774 | 0 | 6 | 6.151 | 0 |
| 13.618 | 12 | | 12 | 6.8 | 0 | 2.356 | 6 | 0 | 8 | 7.911 | 0 |
| 0 | 0.012 | 0 | 14.356 | 9 | 0 | 4 | 6.884 | 0 | 8.074 | 8 | 0 |
| 0.148 | 0.026 | 0 | 14.433 | 9.084 | 0 | 6 | 7.984 | 0 | 10 | 10.961 | 0 |
| 2.726 | 4 | 0 | 15 | 9.698 | 0 | 6.025 | 8 | 0 | 10.123 | 11.196 | 0 |
| 4 | 7.335 | 0 | 16.972 | 12 | 0 | 8 | 9.763 | 0 | | | |
| 4.515 | 7.864 | 0 | 18 | 13.338 | 0 | 8.193 | 10 | 0 | 15.263 | 14 | |
| 4.759 | 8 | 0 | 18.819 | 14.578 | 0 | 9.386 | 11.7 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 9.663 | 0 | 20.833 | 19.872 | 0 | 10 | 12.742 | 0 | 0.478 | 0 | 0 |
| 12 | 11.875 | 0 | | | | 10.828 | 14.368 | 0 | 1.154 | 0 | 0 |
| 12.192 | 12 | 0 | | | | | | | 2 | 0.098 | 0 |
| 16 | 15.441 | 0 | | | | | | | 4 | 1.466 | 0 |
| 17.198 | 17 | 0 | | | | | | | 4.322 | 2 | 0 |
| 19.919 | 21.458 | 0 | | | | | | | 6 | 3.698 | 0 |
| | | | | | | | | | 6.375 | 4 | 0 |
| | | | | | | | | | 7.587 | 4.977 | 0 |
| | | | | | | | | | 8 | 5.37 | 0 |
| | | | | | | | | | 8.618 | 6 | 0 |
| | | | | | | | | | 10 | 7.597 | 0 |
| | | | | | | | | | 10.297 | 8 | 0 |
| | | | | | | | | | 11.795 | 11.196 | 0 |

| Tanker 150.000 DWT | | | Tanker 100.000 DWT | | | Tanker 35.000 DWT | | | Tanker 17.500 DWT | | |
|--------------------|--------|---|--------------------|--------|---|-------------------|--------|---|-------------------|--------|---|
| 82.566 | 13 | | 72.947 | 15 | | 36 | 17 | | 45.789 | 14 | |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 5.281 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 6.431 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 19.595 | 0 | 0 | 15 | 0 | 0 | 8 | 0.292 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| 20 | 0.05 | 0 | 17.617 | 0 | 0 | 10 | 1.506 | 0 | 9.927 | 0 | 0 |
| 23.5 | 2.773 | 0 | 18 | 0.048 | 0 | 10.521 | 2 | 0 | 10 | 0.008 | 0 |
| 23.5 | 4 | 0 | 21 | 2.484 | 0 | 12 | 3.896 | 0 | 12 | 1.51 | 0 |
| 23.5 | 8 | 0 | 21 | 3 | 0 | 12.067 | 4 | 0 | 12 | 2 | 0 |
| 23.5 | 12 | 0 | 21 | 6 | 0 | 13.162 | 6 | 0 | 12 | 4 | 0 |
| 23.5 | 17 | 0 | 21 | 9 | 0 | 13.827 | 7.878 | 0 | 12 | 6 | 0 |
| 23.5 | 21.458 | 0 | 21 | 12 | 0 | 13.858 | 8 | 0 | 12 | 8 | 0 |
| | | | 21 | 14.578 | 0 | 14 | 8.751 | 0 | 12 | 11.196 | 0 |
| | | | 21 | 19.872 | 0 | 14 | 10 | 0 | | | |
| 96.355 | 12 | | | | | 14 | 11.7 | 0 | 53.421 | 14 | |
| 0 | 0 | 0 | 85.105 | 13 | | 14 | 14.368 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | | | | 2 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 45 | 16 | | 4 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.407 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 4 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| 23.5 | 2.082 | 0 | 15 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| 23.5 | 4 | 0 | 18 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 | 10.613 | 0 | 0 |
| 23.5 | 8 | 0 | 21 | 3 | 0 | 9.101 | 0 | 0 | 12 | 1.086 | 0 |
| 23.5 | 12 | 0 | 21 | 6 | 0 | 10 | 0.169 | 0 | 12 | 2 | 0 |
| 23.5 | 17 | 0 | 21 | 9 | 0 | 12 | 1.301 | 0 | 12 | 4 | 0 |
| 23.5 | 21.458 | 0 | 21 | 12 | 0 | 12.66 | 2 | 0 | 12 | 6 | 0 |
| | | | 21 | 14.578 | 0 | 13.819 | 4 | 0 | 12 | 8 | 0 |
| | | | 21 | 19.872 | 0 | 14 | 4.738 | 0 | 12 | 11.196 | 0 |
| 110.145 | 12 | | | | | 14 | 6 | 0 | | | |
| 0 | 0 | 0 | 97.263 | 14 | | 14 | 8 | 0 | 61.053 | 14 | |
| 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 14 | 11.7 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 12 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 14 | 14.368 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 9 | 0 | 0 | | | | 5.4 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 54 | 16 | | 6 | 0 | 0 |
| 23.5 | 2.082 | 0 | 15 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 8 | 0 | 0 |
| 23.5 | 4 | 0 | 18 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 |
| 23.5 | 8 | 0 | 21 | 1.929 | 0 | 4 | 0 | 0 | 10.62 | 0 | 0 |
| 23.5 | 12 | 0 | 21 | 3 | 0 | 6 | 0 | 0 | 12 | 1.086 | 0 |
| 23.5 | 17 | 0 | 21 | 6 | 0 | 8 | 0 | 0 | 12 | 2 | 0 |
| 23.5 | 21.458 | 0 | 21 | 9 | 0 | 10 | 0 | 0 | 12 | 4 | 0 |
| | | | 21 | 12 | 0 | 11.122 | 0 | 0 | 12 | 6 | 0 |
| 123.934 | 12 | | 21 | 14.578 | 0 | 12 | 0.184 | 0 | 12 | 8 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 21 | 19.872 | 0 | 13.906 | 2 | 0 | 12 | 11.196 | 0 |
| 4 | 0 | 0 | | | | 14 | 2.365 | 0 | | | |
| 8 | 0 | 0 | 109.421 | 14 | | 14 | 4 | 0 | 68.684 | 14 | |
| 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 14 | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 16 | 0 | 0 | 3 | 0 | 0 | 14 | 8 | 0 | 2 | 0 | 0 |
| 20 | 0 | 0 | 6 | 0 | 0 | 14 | 10 | 0 | 4 | 0 | 0 |
| 23.5 | 2.082 | 0 | 9 | 0 | 0 | 14 | 11.7 | 0 | 5.4 | 0 | 0 |
| 23.5 | 4 | 0 | 12 | 0 | 0 | 14 | 14.368 | 0 | 6 | 0 | 0 |
| 23.5 | 8 | 0 | 15 | 0 | 0 | | | | 8 | 0 | 0 |
| 23.5 | 12 | 0 | 18 | 0 | 0 | | | | 10 | 0 | 0 |
| 23.5 | 17 | 0 | 21 | 1.929 | 0 | | | | 10.62 | 0 | 0 |
| 23.5 | 21.458 | 0 | 21 | 3 | 0 | | | | 12 | 1.086 | 0 |
| | | | 21 | 6 | 0 | | | | 12 | 2 | 0 |
| | | | 21 | 9 | 0 | | | | 12 | 4 | 0 |
| | | | 21 | 12 | 0 | | | | 12 | 6 | 0 |
| | | | 21 | 14.578 | 0 | | | | 12 | 8 | 0 |
| | | | 21 | 19.872 | 0 | | | | 12 | 11.196 | 0 |

| <i>Tanker 150.000 DWT</i> | <i>Tanker 100.000 DWT</i> | <i>Tanker 35.000 DWT</i> | <i>Tanker 17.500 DWT</i> |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 137.724 12 | 121.579 14 | 63 16 | 76.316 14 |
| 0 0 0 | 0 0 0 | 0 0 0 | 0 0 0 |
| 4 0 0 | 3 0 0 | 2 0 0 | 2 0 0 |
| 8 0 0 | 6 0 0 | 4 0 0 | 4 0 0 |
| 12 0 0 | 9 0 0 | 6 0 0 | 5.4 0 0 |
| 16 0 0 | 12 0 0 | 8 0 0 | 6 0 0 |
| 20 0 0 | 15 0 0 | 10 0 0 | 8 0 0 |
| 23.5 2.082 0 | 18 0 0 | 12 0 0 | 10 0 0 |
| 23.5 4 0 | 21 1.929 0 | 12.299 0 0 | 10.62 0 0 |
| 23.5 8 0 | 21 3 0 | 14 1.418 0 | 12 1.086 0 |
| 23.5 12 0 | 21 6 0 | 14 2 0 | 12 2 0 |
| 23.5 17 0 | 21 9 0 | 14 4 0 | 12 4 0 |
| 23.5 21.458 0 | 21 12 0 | 14 6 0 | 12 6 0 |
| | 21 14.578 0 | 14 8 0 | 12 8 0 |
| | 21 19.872 0 | 14 10 0 | 12 11.196 0 |
| 151.513 12 | | 14 11.7 0 | |
| 0 0 0 | 133.737 14 | 14 14.368 0 | 83.947 14 |
| 4 0 0 | 0 0 0 | | 0 0 0 |
| 8 0 0 | 3 0 0 | 72 15 | 2 0 0 |
| 12 0 0 | 6 0 0 | 0 0 0 | 4 0 0 |
| 16 0 0 | 9 0 0 | 2 0 0 | 5.4 0 0 |
| 20 0 0 | 12 0 0 | 4 0 0 | 6 0 0 |
| 23.5 2.082 0 | 15 0 0 | 6 0 0 | 8 0 0 |
| 23.5 4 0 | 18 0 0 | 8 0 0 | 10 0 0 |
| 23.5 8 0 | 21 1.929 0 | 10 0 0 | 10.62 0 0 |
| 23.5 12 0 | 21 3 0 | 12 0 0 | 12 1.086 0 |
| 23.5 17 0 | 21 6 0 | 14 1.394 0 | 12 2 0 |
| 23.5 21.458 0 | 21 9 0 | 14 2 0 | 12 4 0 |
| | 21 12 0 | 14 4 0 | 12 6 0 |
| | 21 14.578 0 | 14 6 0 | 12 8 0 |
| | 21 19.872 0 | 14 8 0 | 12 11.196 0 |
| 165.303 12 | | 14 10 0 | |
| 0 0 0 | 145.895 14 | 14 11.7 0 | 91.579 14 |
| 4 0 0 | 0 0 0 | 14 14.368 0 | 0 0 0 |
| 8 0 0 | 3 0 0 | | 2 0 0 |
| 12 0 0 | 6 0 0 | 81 15 | 4 0 0 |
| 16 0 0 | 9 0 0 | 0 0 0 | 5.4 0 0 |
| 20 0 0 | 12 0 0 | 2 0 0 | 6 0 0 |
| 23.5 2.082 0 | 15 0 0 | 4 0 0 | 8 0 0 |
| 23.5 4 0 | 18 0 0 | 6 0 0 | 10 0 0 |
| 23.5 8 0 | 21 1.929 0 | 8 0 0 | 10.62 0 0 |
| 23.5 12 0 | 21 3 0 | 10 0 0 | 12 1.086 0 |
| 23.5 17 0 | 21 6 0 | 12 0 0 | 12 2 0 |
| 23.5 21.458 0 | 21 9 0 | 14 1.394 0 | 12 4 0 |
| | 21 12 0 | 14 2 0 | 12 6 0 |
| | 21 14.578 0 | 14 4 0 | 12 8 0 |
| | 21 19.872 0 | 14 6 0 | 12 11.196 0 |
| 179.092 12 | | 14 8 0 | |
| 0 0 0 | 158.053 14 | 14 10 0 | 99.211 14 |
| 4 0 0 | 0 0 0 | 14 11.7 0 | 0 0 0 |
| 8 0 0 | 3 0 0 | 14 14.368 0 | 2 0 0 |
| 12 0 0 | 6 0 0 | | 4 0 0 |
| 16 0 0 | 9 0 0 | | 5.4 0 0 |
| 20 0 0 | 12 0 0 | | 6 0 0 |
| 23.5 2.082 0 | 15 0 0 | | 8 0 0 |
| 23.5 4 0 | 18 0 0 | | 10 0 0 |
| 23.5 8 0 | 21 1.929 0 | | 10.62 0 0 |
| 23.5 12 0 | 21 3 0 | | 12 1.086 0 |
| 23.5 17 0 | 21 6 0 | | 12 2 0 |
| 23.5 21.458 0 | 21 9 0 | | 12 4 0 |
| | 21 12 0 | | 12 6 0 |
| | 21 14.578 0 | | 12 8 0 |
| | 21 19.872 0 | | 12 11.196 0 |

| <i>Tanker 150.000 DWT</i> | <i>Tanker 100.000 DWT</i> | <i>Tanker 35.000 DWT</i> | <i>Tanker 17.500 DWT</i> |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 192.882 12 | 170.211 14 | 90 15 | 106.842 14 |
| 0 0 0 | 0 0 0 | 0 0 0 | 0 0 0 |
| 4 0 0 | 3 0 0 | 2 0 0 | 2 0 0 |
| 8 0 0 | 6 0 0 | 4 0 0 | 4 0 0 |
| 12 0 0 | 9 0 0 | 6 0 0 | 5.4 0 0 |
| 16 0 0 | 12 0 0 | 8 0 0 | 6 0 0 |
| 20 0 0 | 15 0 0 | 10 0 0 | 8 0 0 |
| 23.5 2.082 0 | 18 0 0 | 12 0 0 | 10 0 0 |
| 23.5 4 0 | 21 1.929 0 | 14 1.394 0 | 10.62 0 0 |
| 23.5 8 0 | 21 3 0 | 14 2 0 | 12 1.086 0 |
| 23.5 12 0 | 21 6 0 | 14 4 0 | 12 2 0 |
| 23.5 17 0 | 21 9 0 | 14 6 0 | 12 4 0 |
| 23.5 21.458 0 | 21 12 0 | 14 8 0 | 12 6 0 |
| | 21 14.578 0 | 14 10 0 | 12 8 0 |
| | 21 19.872 0 | 14 11.7 0 | 12 11.196 0 |
| 206.671 12 | | 14 14.368 0 | |
| 0 0 0 | 182.368 14 | | 114.474 14 |
| 4 0 0 | 0 0 0 | 99 15 | 0 0 0 |
| 8 0 0 | 3 0 0 | 0 0 0 | 2 0 0 |
| 12 0 0 | 6 0 0 | 2 0 0 | 4 0 0 |
| 16 0 0 | 9 0 0 | 4 0 0 | 5.317 0 0 |
| 20 0 0 | 12 0 0 | 6 0 0 | 6 0 0 |
| 23.5 2.49 0 | 15 0 0 | 8 0 0 | 8 0 0 |
| 23.5 4 0 | 18 0 0 | 10 0 0 | 10 0 0 |
| 23.5 8 0 | 21 2.765 0 | 12 0 0 | 10.307 0 0 |
| 23.5 12 0 | 21 3 0 | 14 1.394 0 | 12 1.514 0 |
| 23.5 17 0 | 21 6 0 | 14 2 0 | 12 2 0 |
| 23.5 21.458 0 | 21 9 0 | 14 4 0 | 12 4 0 |
| | 21 12 0 | 14 6 0 | 12 6 0 |
| | 21 14.578 0 | 14 8 0 | 12 8 0 |
| | 21 19.872 0 | 14 10 0 | 12 11.196 0 |
| 220.461 14 | | 14 11.7 0 | |
| 0 0 0 | 194.526 16 | 14 14.368 0 | 122.105 15 |
| 4 0 0 | 0 0 0 | | 0 0 0 |
| 8 0 0 | 3 0 0 | 108 15 | 2 0 0 |
| 12 0 0 | 6 0 0 | 0 0 0 | 4 0 0 |
| 16 0 0 | 9 0 0 | 2 0 0 | 4.047 0 0 |
| 17.993 0 0 | 12 0 0 | 4 0 0 | 6 0 0 |
| 20 0.182 0 | 15 0 0 | 6 0 0 | 8 0 0 |
| 23.201 4 0 | 15.286 0 0 | 8 0 0 | 8.78 0 0 |
| 23.456 8 0 | 18 0.357 0 | 10 0 0 | 10 0.12 0 |
| 23.486 8.942 0 | 20.406 3 0 | 12 0 0 | 11.739 2 0 |
| 23.5 9.676 0 | 20.769 6 0 | 14 1.394 0 | 11.913 4 0 |
| 23.5 12 0 | 20.892 8.341 0 | 14 2 0 | 11.945 4.697 0 |
| 23.5 17 0 | 20.918 9 0 | 14 4 0 | 11.986 6 0 |
| 23.5 21.458 0 | 20.99 12 0 | 14 6 0 | 12 7.265 0 |
| | 21 13.541 0 | 14 8 0 | 12 8 0 |
| | 21 14.578 0 | 14 10 0 | 12 11.196 0 |
| | 21 19.872 0 | 14 11.7 0 | |
| 234.25 13 | | 14 14.368 0 | |
| 0 0 0 | | | |
| 4 0 0 | | | |
| 8 0 0 | | | |
| 12 0 0 | | | |
| 12.674 0 0 | | | |
| 16 0.326 0 | | | |
| 20 2.233 0 | | | |
| 21.003 4 0 | | | |
| 21.732 8 0 | | | |
| 21.892 9.071 0 | | | |
| 22.284 12 0 | | | |
| 22.885 17 0 | | | |
| 23.289 21.502 0 | | | |

| Tanker 150.000 DWT | | | Tanker 100.000 DWT | | | Tanker 35.000 DWT | | | Tanker 17.500 DWT | | |
|--------------------|--------|---|--------------------|--------|---|-------------------|--------|---|-------------------|--------|---|
| 264.03 | 8 | | 232 | 11 | | 144 | 16 | | 145.8 | 9 | |
| 0 | 0.829 | 0 | 0 | 0.232 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.219 | 0 |
| 1.919 | 4 | 0 | 2.24 | 3 | 0 | 2 | 0 | 0 | 1.204 | 2 | 0 |
| 0.61 | 8 | 0 | 2.13 | 6 | 0 | 4 | 0 | 0 | 0.783 | 4 | 0 |
| 0 | 8.638 | 0 | 1.13 | 8.421 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0.384 | 4.744 | 0 |
| 0 | 8.661 | 0 | 0.818 | 9 | 0 | 8 | 0 | 0 | 0 | 5.274 | 0 |
| 0 | 18.265 | 0 | 0 | 10.376 | 0 | 8.972 | 0 | 0 | 0 | 8.744 | 0 |
| 4 | 20.434 | 0 | 0 | 14.539 | 0 | 10 | 0.074 | 0 | 2 | 10.055 | 0 |
| 7.348 | 22.903 | 0 | 0.114 | 14.578 | 0 | 12 | 0.679 | 0 | 4 | 11.653 | 0 |
| | | | 3 | 16.78 | 0 | 13.062 | 2 | 0 | 4.32 | 11.93 | 0 |
| 264.36 | 8 | | 6 | 19.245 | 0 | 13.425 | 4 | 0 | | | |
| 0 | 1.065 | 0 | 8.149 | 21.153 | 0 | 13.603 | 6 | 0 | 146.105 | 8 | |
| 1.712 | 4 | 0 | | | | 13.609 | 6.072 | 0 | 0 | 0.351 | 0 |
| 0.177 | 8 | 0 | 232.5 | 10 | | 13.746 | 8 | 0 | 1.049 | 2 | 0 |
| 0 | 8.151 | 0 | 0 | 0.404 | 0 | 13.864 | 10 | 0 | 0.556 | 4 | 0 |
| 0 | 8.156 | 0 | 1.972 | 3 | 0 | 13.931 | 11.7 | 0 | 0.001 | 4.744 | 0 |
| 0 | 18.917 | 0 | 1.806 | 6 | 0 | 13.986 | 14.369 | 0 | 0 | 4.745 | 0 |
| 4 | 20.915 | 0 | 0.632 | 8.421 | 0 | | | | 0 | 9.273 | 0 |
| 6.823 | 22.918 | 0 | 0.262 | 9 | 0 | 153 | 16 | | 2 | 10.44 | 0 |
| | | | 0 | 9.288 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.948 | 11.943 | 0 |
| 264.759 | 7 | | 0 | 15.593 | 0 | 2 | 0 | 0 | | | |
| 0 | 1.415 | 0 | 3 | 17.519 | 0 | 4 | 0 | 0 | 146.256 | 7 | |
| 1.453 | 4 | 0 | 6 | 19.877 | 0 | 5.488 | 0 | 0 | 0 | 0.432 | 0 |
| 0 | 7.548 | 0 | 7.512 | 21.178 | 0 | 6 | 0.022 | 0 | 0.972 | 2 | 0 |
| 0 | 7.56 | 0 | | | | 8 | 0.325 | 0 | 0.43 | 4 | 0 |
| 0 | 19.704 | 0 | 233 | 8 | | 10 | 1.339 | 0 | 0 | 4.519 | 0 |
| 4 | 21.497 | 0 | 0 | 0.649 | 0 | 10.641 | 2 | 0 | 0 | 9.528 | 0 |
| 6.145 | 22.936 | 0 | 1.706 | 3 | 0 | 11.458 | 4 | 0 | 2 | 10.629 | 0 |
| | | | 1.473 | 6 | 0 | 11.885 | 6 | 0 | 3.756 | 11.949 | 0 |
| 265.206 | 7 | | 0 | 8.344 | 0 | 11.898 | 6.073 | 0 | | | |
| 0 | 1.799 | 0 | 0 | 16.545 | 0 | 12 | 6.669 | 0 | 146.459 | 7 | |
| 0 | 1.943 | 0 | 3 | 18.236 | 0 | 12.224 | 8 | 0 | 0 | 0.555 | 0 |
| 1.135 | 4 | 0 | 6 | 20.498 | 0 | 12.569 | 10 | 0 | 0.867 | 2 | 0 |
| 0 | 6.906 | 0 | 6.846 | 21.201 | 0 | 12.907 | 11.7 | 0 | 0.242 | 4 | 0 |
| 0 | 20.588 | 0 | | | | 13.494 | 14.529 | 0 | 0 | 4.253 | 0 |
| 4 | 22.153 | 0 | 233.5 | 8 | | | | | 0 | 9.868 | 0 |
| 5.298 | 22.954 | 0 | 0 | 0.967 | 0 | 162 | 15 | | 2 | 10.882 | 0 |
| | | | 1.434 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3.487 | 11.957 | 0 |
| 265.622 | 7 | | 1.115 | 6 | 0 | 2 | 0 | 0 | | | |
| 0 | 2.612 | 0 | 0 | 7.584 | 0 | 2.119 | 0 | 0 | 146.704 | 6 | |
| 0.779 | 4 | 0 | 0 | 17.47 | 0 | 4 | 0.303 | 0 | 0 | 0.738 | 0 |
| 0 | 6.171 | 0 | 3 | 18.945 | 0 | 6 | 1.603 | 0 | 0.735 | 2 | 0 |
| 0 | 6.343 | 0 | 6 | 21.112 | 0 | 6.292 | 2 | 0 | 0 | 3.945 | 0 |
| 0 | 21.414 | 0 | 6.139 | 21.223 | 0 | 7.114 | 4 | 0 | 0 | 10.278 | 0 |
| 4 | 22.771 | 0 | | | | 7.537 | 6 | 0 | 2 | 11.186 | 0 |
| 4.363 | 22.971 | 0 | 234.196 | 7 | | 7.551 | 6.088 | 0 | 3.141 | 11.966 | 0 |
| | | | 0 | 1.595 | 0 | 7.949 | 8 | 0 | | | |
| 266.132 | 3 | | 1.017 | 3 | 0 | 8 | 8.156 | 0 | 146.98 | 6 | |
| 0 | 4.826 | 0 | 0.527 | 6 | 0 | 8.811 | 10 | 0 | 0 | 1.014 | 0 |
| 0 | 22.434 | 0 | 0 | 6.63 | 0 | 9.724 | 11.7 | 0 | 0.573 | 2 | 0 |
| 2.722 | 22.99 | 0 | 0 | 18.753 | 0 | 10 | 12.194 | 0 | 0 | 3.603 | 0 |
| | | | 3 | 19.937 | 0 | 11.528 | 14.887 | 0 | 0 | 10.741 | 0 |
| 266.414 | 2 | | 5.037 | 21.251 | 0 | | | | 2 | 11.532 | 0 |
| 0 | 23 | 0 | | | | | | | 2.707 | 11.976 | 0 |
| 1.718 | 23 | 0 | 235.284 | 2 | | | | | | | |
| | | | 0 | 20.775 | 0 | | | | | | |
| | | | 2.433 | 21.291 | 0 | | | | | | |
| | | | 235.564 | 2 | | | | | | | |
| | | | 0 | 21.3 | 0 | | | | | | |
| | | | 0.001 | 21.3 | 0 | | | | | | |

| <i>Tanker 150.000 DWT</i> | <i>Tanker 100.000 DWT</i> | <i>Tanker 35.000 DWT</i> | <i>Tanker 17.500 DWT</i> |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 171 13 | 147.236 6 |
| | | 0 0.048 0 | 0 1.363 0 |
| | | 1.752 2 0 | 0.389 2 0 |
| | | 1.883 4 0 | 0 3.219 0 |
| | | 1.27 6 0 | 0 11.172 0 |
| | | 1.24 6.089 0 | 2 11.856 0 |
| | | 0.578 8 0 | 2.23 11.985 0 |
| | | 0.97 10 0 | |
| | | 2 11.161 0 | 147.551 3 |
| | | 2.533 11.7 0 | 0 2.518 0 |
| | | 2.533 11.7 0 | 0 11.705 0 |
| | | 4 13.121 0 | 1.389 11.995 0 |
| | | 6 15.131 0 | |
| | | 6.125 15.262 0 | 147.724 3 |
| | | | 0 11.999 0 |
| | | 171.153 11 | 0.073 12 0 |
| | | 0 0.064 0 | 0.075 12 0 |
| | | 1.692 2 0 | |
| | | 1.811 4 0 | |
| | | 1.18 6 0 | |
| | | 1.148 6.089 0 | |
| | | 0.447 8 0 | |
| | | 0.771 10 0 | |
| | | 2 11.359 0 | |
| | | 2.345 11.7 0 | |
| | | 4 13.276 0 | |
| | | 5.995 15.268 0 | |
| | | | |
| | | 171.607 11 | |
| | | 0 0.132 0 | |
| | | 1.518 2 0 | |
| | | 1.604 4 0 | |
| | | 0.909 6 0 | |
| | | 0.871 6.089 0 | |
| | | 0 7.868 0 | |
| | | 0 10.162 0 | |
| | | 1.765 11.7 0 | |
| | | 2 11.917 0 | |
| | | 4 13.728 0 | |
| | | 5.602 15.286 0 | |
| | | | |
| | | 171.84 11 | |
| | | 0 0.179 0 | |
| | | 1.43 2 0 | |
| | | 1.5 4 0 | |
| | | 0.763 6 0 | |
| | | 0.721 6.089 0 | |
| | | 0 7.404 0 | |
| | | 0 10.603 0 | |
| | | 1.457 11.7 0 | |
| | | 2 12.188 0 | |
| | | 4 13.955 0 | |
| | | 5.397 15.295 0 | |

| <i>Tanker 150.000 DWT</i> | <i>Tanker 100.000 DWT</i> | <i>Tanker 35.000 DWT</i> | <i>Tanker 17.500 DWT</i> |
|---------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | 172.586 10 | |
| | | 0 0.406 0 | |
| | | 1.154 2 0 | |
| | | 1.169 4 0 | |
| | | 0.207 6 0 | |
| | | 0.143 6.089 0 | |
| | | 0 6.241 0 | |
| | | 0 11.743 0 | |
| | | 2 13.014 0 | |
| | | 4 14.668 0 | |
| | | 4.718 15.323 0 | |
| | | 172.989 8 | |
| | | 0 0.583 0 | |
| | | 1.004 2 0 | |
| | | 0.985 4 0 | |
| | | 0 5.727 0 | |
| | | 0 12.31 0 | |
| | | 2 13.447 0 | |
| | | 4 15.045 0 | |
| | | 4.33 15.336 0 | |
| | | 173.256 8 | |
| | | 0 0.721 0 | |
| | | 0.902 2 0 | |
| | | 0.857 4 0 | |
| | | 0 5.44 0 | |
| | | 0 12.682 0 | |
| | | 2 13.733 0 | |
| | | 4 15.293 0 | |
| | | 4.061 15.345 0 | |
| | | 173.883 7 | |
| | | 0 1.153 0 | |
| | | 0.635 2 0 | |
| | | 0.524 4 0 | |
| | | 0 4.794 0 | |
| | | 0 13.552 0 | |
| | | 2 14.407 0 | |
| | | 3.367 15.365 0 | |
| | | 174.356 7 | |
| | | 0 1.637 0 | |
| | | 0.352 2 0 | |
| | | 0.199 4 0 | |
| | | 0 4.255 0 | |
| | | 0 14.211 0 | |
| | | 2 14.922 0 | |
| | | 2.741 15.378 0 | |
| | | 174.934 2 | |
| | | 0 15.019 0 | |
| | | 1.624 15.394 0 | |
| | | 175.205 2 | |
| | | 0 15.4 0 | |
| | | 1.023 15.4 0 | |

Input pemodelan bagian ujung depan dan belakang tanker pada software Hydrostar

| <i>Tanker 150.000 DWT</i> | <i>Tanker 100.000 DWT</i> | <i>Tanker 35.000 DWT</i> | <i>Tanker 17.500 DWT</i> |
|----------------------------------|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 150DWT | 100DWT | 35DWT | 17DWT |
| HULF | HULF | HULF | HULF |
| 4 | 4 | 4 | 4 |
| 150DWT.hul | 100DWT.hul | 35DWT.hul | 17DWT.hul |
| IXDEF | IXDEF | IXDEF | IXDEF |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| TYPF | TYPF | TYPF | TYPF |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 262.000 13.296 | 231.168 12.268 | 171.000 8.870 | 144.997 6.911 |
| 266.132 4.826 | 235.284 4.469 | 174.934 3.231 | 147.551 2.518 |
| TYPA | TYPA | TYPA | TYPA |
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5.479 6.936 | 4.166 6.361 | 5.639 4.599 | 1.343 3.588 |
| 4.163 4.052 | 2.900 3.689 | 4.512 2.667 | 0.557 2.083 |
| -5.267 12.705 | -8.2363 11.766 | -5.795 8.507 | -3.572 6.629 |
| DRAUGHT | DRAUGHT | DRAUGHT | DRAUGHT |
| 17.17 | 14.7 | 11.75 | 8 |
| ABOVE | ABOVE | ABOVE | ABOVE |
| 5.83 | 6.6 | 3.65 | 4 |
| MPAR | MPAR | MPAR | MPAR |
| 70 12 | 100 12 | 70 12 | 70 12 |
| ENDMR | ENDMR | ENDMR | ENDMR |

LAMPIRAN B-1
RAO STRUKTUR

RAO Buoy

| Wave Frequency (rad/s) | Surge Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 6.48 | 4.58 | 0.00 | 4.58 | 6.48 |
| 0.2 | 3.26 | 2.31 | 0.00 | 2.31 | 3.26 |
| 0.3 | 2.21 | 1.56 | 0.00 | 1.56 | 2.21 |
| 0.4 | 1.69 | 1.19 | 0.00 | 1.19 | 1.69 |
| 0.5 | 1.39 | 0.98 | 0.00 | 0.98 | 1.39 |
| 0.6 | 1.22 | 0.86 | 0.00 | 0.86 | 1.22 |
| 0.7 | 1.17 | 0.83 | 0.00 | 0.83 | 1.17 |
| 0.8 | 0.11 | 0.08 | 0.00 | 0.08 | 0.11 |
| 0.9 | 0.67 | 0.48 | 0.00 | 0.48 | 0.67 |
| 1 | 0.66 | 0.47 | 0.00 | 0.47 | 0.66 |
| 1.1 | 0.61 | 0.43 | 0.00 | 0.43 | 0.61 |
| 1.2 | 0.55 | 0.39 | 0.00 | 0.39 | 0.55 |
| 1.3 | 0.49 | 0.35 | 0.00 | 0.35 | 0.49 |
| 1.4 | 0.43 | 0.31 | 0.00 | 0.31 | 0.43 |
| 1.5 | 0.38 | 0.27 | 0.00 | 0.27 | 0.38 |
| 1.6 | 0.33 | 0.23 | 0.00 | 0.23 | 0.33 |
| 1.7 | 0.28 | 0.20 | 0.00 | 0.20 | 0.28 |
| 1.8 | 0.24 | 0.17 | 0.00 | 0.17 | 0.24 |

| Wave Frequency (rad/s) | Heave Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.2 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.3 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.4 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.5 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.6 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.7 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.8 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |
| 0.9 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 | 1.01 |
| 1 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 | 1.03 |
| 1.1 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 | 1.06 |
| 1.2 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 | 1.10 |
| 1.3 | 1.12 | 1.12 | 1.12 | 1.12 | 1.12 |
| 1.4 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 | 1.05 |
| 1.5 | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.83 |
| 1.6 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 |
| 1.7 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 | 0.38 |
| 1.8 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 |

| Wave Frequency (rad/s) | Sway Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 4.58 | 6.48 | 4.58 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 2.31 | 3.26 | 2.31 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.56 | 2.21 | 1.56 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 1.19 | 1.69 | 1.19 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.98 | 1.39 | 0.98 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.86 | 1.22 | 0.86 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.83 | 1.17 | 0.83 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.08 | 0.11 | 0.08 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.48 | 0.67 | 0.48 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.47 | 0.66 | 0.47 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.43 | 0.61 | 0.43 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.39 | 0.55 | 0.39 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.35 | 0.49 | 0.35 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.31 | 0.43 | 0.31 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.27 | 0.38 | 0.27 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.23 | 0.33 | 0.23 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.20 | 0.28 | 0.20 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.17 | 0.24 | 0.17 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Roll Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|------------------------|-------|-------|-------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.27 | 0.38 | 0.27 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.57 | 0.81 | 0.57 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.93 | 1.32 | 0.93 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 1.43 | 2.03 | 1.43 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 2.22 | 3.15 | 2.22 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 3.79 | 5.37 | 3.79 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 8.90 | 12.59 | 8.90 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 53.19 | 75.22 | 53.19 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 7.19 | 10.18 | 7.19 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 3.89 | 5.50 | 3.89 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 2.61 | 3.70 | 2.61 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 1.90 | 2.69 | 1.90 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 1.44 | 2.03 | 1.44 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 1.10 | 1.56 | 1.10 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.85 | 1.20 | 0.85 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.66 | 0.93 | 0.66 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.51 | 0.73 | 0.51 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.40 | 0.57 | 0.40 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Pitch Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-------------------------|-------|------|-------|-------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.38 | 0.27 | 0.00 | 0.27 | 0.38 |
| 0.2 | 0.81 | 0.57 | 0.00 | 0.57 | 0.81 |
| 0.3 | 1.32 | 0.93 | 0.00 | 0.93 | 1.32 |
| 0.4 | 2.03 | 1.43 | 0.00 | 1.43 | 2.03 |
| 0.5 | 3.15 | 2.22 | 0.00 | 2.22 | 3.15 |
| 0.6 | 5.37 | 3.79 | 0.00 | 3.79 | 5.37 |
| 0.7 | 12.59 | 8.90 | 0.00 | 8.90 | 12.59 |
| 0.8 | 75.22 | 53.19 | 0.00 | 53.19 | 75.22 |
| 0.9 | 10.18 | 7.19 | 0.00 | 7.19 | 10.18 |
| 1 | 5.50 | 3.89 | 0.00 | 3.89 | 5.50 |
| 1.1 | 3.70 | 2.61 | 0.00 | 2.61 | 3.70 |
| 1.2 | 2.69 | 1.90 | 0.00 | 1.90 | 2.69 |
| 1.3 | 2.03 | 1.44 | 0.00 | 1.44 | 2.03 |
| 1.4 | 1.56 | 1.10 | 0.00 | 1.10 | 1.56 |
| 1.5 | 1.20 | 0.85 | 0.00 | 0.85 | 1.20 |
| 1.6 | 0.93 | 0.66 | 0.00 | 0.66 | 0.93 |
| 1.7 | 0.73 | 0.51 | 0.00 | 0.51 | 0.73 |
| 1.8 | 0.57 | 0.40 | 0.00 | 0.40 | 0.57 |

| Wave Frequency (rad/s) | Yaw Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

RAO Tanker 150.000 DWT *Full Cargo*

| Wave Frequency (rad/s) | Surge Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 5.82 | 4.30 | 0.00 | 4.31 | 5.82 |
| 0.2 | 2.13 | 1.85 | 0.00 | 1.84 | 2.13 |
| 0.3 | 0.72 | 0.93 | 0.01 | 0.89 | 0.67 |
| 0.4 | 0.06 | 0.41 | 0.01 | 0.35 | 0.01 |
| 0.5 | 0.12 | 0.14 | 0.02 | 0.07 | 0.16 |
| 0.6 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 0.08 | 0.10 |
| 0.7 | 0.02 | 0.06 | 0.03 | 0.08 | 0.06 |
| 0.8 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.06 |
| 0.9 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.04 |
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Sway Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 4.32 | 6.38 | 4.32 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 1.85 | 3.13 | 1.85 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.92 | 2.02 | 0.92 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.40 | 1.46 | 0.39 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.07 | 1.09 | 0.05 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.02 | 0.42 | 0.03 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.05 | 0.45 | 0.07 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.01 | 0.37 | 0.03 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.02 | 0.29 | 0.02 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.02 | 0.22 | 0.03 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.00 | 0.16 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.12 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.09 | 0.01 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Heave Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.92 | 0.97 | 1.01 | 0.97 | 0.92 |
| 0.2 | 0.68 | 0.85 | 1.04 | 0.85 | 0.68 |
| 0.3 | 0.29 | 0.62 | 1.09 | 0.65 | 0.34 |
| 0.4 | 0.05 | 0.36 | 1.17 | 0.45 | 0.16 |
| 0.5 | 0.20 | 0.06 | 1.22 | 0.24 | 0.23 |
| 0.6 | 0.09 | 0.19 | 1.04 | 0.13 | 0.16 |
| 0.7 | 0.08 | 0.14 | 0.67 | 0.14 | 0.06 |
| 0.8 | 0.04 | 0.05 | 0.38 | 0.04 | 0.04 |
| 0.9 | 0.02 | 0.04 | 0.21 | 0.02 | 0.02 |
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.12 | 0.01 | 0.01 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.07 | 0.01 | 0.01 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Pitch Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.36 | 0.26 | 0.00 | 0.26 | 0.36 |
| 0.2 | 0.63 | 0.51 | 0.01 | 0.50 | 0.63 |
| 0.3 | 0.72 | 0.70 | 0.02 | 0.68 | 0.69 |
| 0.4 | 0.47 | 0.77 | 0.04 | 0.72 | 0.46 |
| 0.5 | 0.14 | 0.67 | 0.09 | 0.61 | 0.16 |
| 0.6 | 0.26 | 0.31 | 0.14 | 0.31 | 0.20 |
| 0.7 | 0.14 | 0.11 | 0.11 | 0.06 | 0.11 |
| 0.8 | 0.07 | 0.12 | 0.07 | 0.09 | 0.05 |
| 0.9 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| 1 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.01 |
| 1.1 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 1.2 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Roll Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.26 | 0.39 | 0.26 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.49 | 0.82 | 0.49 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.65 | 1.39 | 0.65 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.66 | 2.40 | 0.66 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.18 | 5.31 | 0.23 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.89 | 4.90 | 0.80 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.45 | 1.85 | 0.38 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.12 | 0.90 | 0.06 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.10 | 0.49 | 0.08 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.06 | 0.28 | 0.05 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.04 | 0.16 | 0.01 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.02 | 0.05 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Yaw Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.36 | 0.26 | 0.00 | 0.26 | 0.36 |
| 0.2 | 0.63 | 0.51 | 0.01 | 0.50 | 0.63 |
| 0.3 | 0.72 | 0.70 | 0.02 | 0.68 | 0.69 |
| 0.4 | 0.47 | 0.77 | 0.04 | 0.72 | 0.46 |
| 0.5 | 0.14 | 0.67 | 0.09 | 0.61 | 0.16 |
| 0.6 | 0.26 | 0.31 | 0.14 | 0.31 | 0.20 |
| 0.7 | 0.14 | 0.11 | 0.11 | 0.06 | 0.11 |
| 0.8 | 0.07 | 0.12 | 0.07 | 0.09 | 0.05 |
| 0.9 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| 1 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.01 |
| 1.1 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 1.2 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

RAO Tanker 150.000 DWT 10% Cargo

| Wave Frequency (rad/s) | Surge Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 5.82 | 4.30 | 0.00 | 4.31 | 5.82 |
| 0.2 | 2.13 | 1.85 | 0.00 | 1.84 | 2.13 |
| 0.3 | 0.72 | 0.93 | 0.01 | 0.89 | 0.67 |
| 0.4 | 0.06 | 0.41 | 0.01 | 0.35 | 0.01 |
| 0.5 | 0.12 | 0.14 | 0.02 | 0.07 | 0.16 |
| 0.6 | 0.06 | 0.08 | 0.03 | 0.08 | 0.10 |
| 0.7 | 0.02 | 0.06 | 0.03 | 0.08 | 0.06 |
| 0.8 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.06 |
| 0.9 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.04 |
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Heave Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.92 | 0.97 | 1.01 | 0.97 | 0.92 |
| 0.2 | 0.68 | 0.85 | 1.04 | 0.85 | 0.68 |
| 0.3 | 0.29 | 0.62 | 1.09 | 0.65 | 0.34 |
| 0.4 | 0.05 | 0.36 | 1.17 | 0.45 | 0.16 |
| 0.5 | 0.20 | 0.06 | 1.22 | 0.24 | 0.23 |
| 0.6 | 0.09 | 0.19 | 1.04 | 0.13 | 0.16 |
| 0.7 | 0.08 | 0.14 | 0.67 | 0.14 | 0.06 |
| 0.8 | 0.04 | 0.05 | 0.38 | 0.04 | 0.04 |
| 0.9 | 0.02 | 0.04 | 0.21 | 0.02 | 0.02 |
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.12 | 0.01 | 0.01 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.07 | 0.01 | 0.01 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Sway Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 4.32 | 6.38 | 4.32 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 1.85 | 3.13 | 1.85 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.92 | 2.02 | 0.92 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.40 | 1.46 | 0.39 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.07 | 1.09 | 0.05 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.02 | 0.42 | 0.03 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.05 | 0.45 | 0.07 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.01 | 0.37 | 0.03 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.02 | 0.29 | 0.02 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.02 | 0.22 | 0.03 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.00 | 0.16 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.12 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.09 | 0.01 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Roll Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------------|------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.26 | 0.39 | 0.26 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.49 | 0.82 | 0.49 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.65 | 1.39 | 0.65 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.66 | 2.40 | 0.66 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.18 | 5.31 | 0.23 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.89 | 4.90 | 0.80 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.45 | 1.85 | 0.38 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.12 | 0.90 | 0.06 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.10 | 0.49 | 0.08 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.06 | 0.28 | 0.05 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.04 | 0.16 | 0.01 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.02 | 0.09 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.02 | 0.05 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Pitch Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.36 | 0.26 | 0.00 | 0.26 | 0.36 |
| 0.2 | 0.63 | 0.51 | 0.01 | 0.50 | 0.63 |
| 0.3 | 0.72 | 0.70 | 0.02 | 0.68 | 0.69 |
| 0.4 | 0.47 | 0.77 | 0.04 | 0.72 | 0.46 |
| 0.5 | 0.14 | 0.67 | 0.09 | 0.61 | 0.16 |
| 0.6 | 0.26 | 0.31 | 0.14 | 0.31 | 0.20 |
| 0.7 | 0.14 | 0.11 | 0.11 | 0.06 | 0.11 |
| 0.8 | 0.07 | 0.12 | 0.07 | 0.09 | 0.05 |
| 0.9 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.03 |
| 1 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.02 | 0.01 |
| 1.1 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 1.2 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Yaw Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.96 | 0.02 | 0.96 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.87 | 0.01 | 0.87 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.73 | 0.01 | 0.73 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.52 | 0.02 | 0.53 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.30 | 0.03 | 0.31 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.10 | 0.03 | 0.10 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.05 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

RAO Tanker 100.000 DWT *Full Cargo*

| Wave Frequency (rad/s) | Surge Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 5.97 | 4.38 | 0.01 | 4.38 | 5.97 |
| 0.2 | 2.32 | 1.93 | 0.00 | 1.93 | 2.30 |
| 0.3 | 0.92 | 1.03 | 0.01 | 0.98 | 0.85 |
| 0.4 | 0.18 | 0.50 | 0.03 | 0.41 | 0.09 |
| 0.5 | 0.10 | 0.19 | 0.06 | 0.10 | 0.16 |
| 0.6 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.06 | 0.13 |
| 0.7 | 0.00 | 0.07 | 0.04 | 0.08 | 0.07 |
| 0.8 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.06 | 0.05 |
| 0.9 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.04 |
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.03 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Sway Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 4.38 | 6.42 | 4.38 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 1.93 | 3.15 | 1.93 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.02 | 2.04 | 1.02 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.51 | 1.50 | 0.50 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.15 | 1.04 | 0.12 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.04 | 0.55 | 0.04 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.06 | 0.49 | 0.08 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.03 | 0.39 | 0.05 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.01 | 0.29 | 0.01 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.01 | 0.22 | 0.02 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.16 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.01 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Heave Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.94 | 0.98 | 1.01 | 0.98 | 0.94 |
| 0.2 | 0.75 | 0.90 | 1.06 | 0.90 | 0.76 |
| 0.3 | 0.39 | 0.72 | 1.16 | 0.76 | 0.45 |
| 0.4 | 0.08 | 0.46 | 1.33 | 0.61 | 0.22 |
| 0.5 | 0.26 | 0.13 | 1.43 | 0.42 | 0.25 |
| 0.6 | 0.12 | 0.21 | 1.02 | 0.09 | 0.20 |
| 0.7 | 0.08 | 0.14 | 0.58 | 0.12 | 0.04 |
| 0.8 | 0.05 | 0.05 | 0.30 | 0.05 | 0.04 |
| 0.9 | 0.02 | 0.03 | 0.16 | 0.01 | 0.01 |
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.09 | 0.01 | 0.01 |
| 1.1 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.00 | 0.01 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Pitch Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.37 | 0.26 | 0.00 | 0.26 | 0.37 |
| 0.2 | 0.67 | 0.53 | 0.01 | 0.52 | 0.66 |
| 0.3 | 0.85 | 0.79 | 0.05 | 0.74 | 0.81 |
| 0.4 | 0.67 | 0.96 | 0.12 | 0.85 | 0.64 |
| 0.5 | 0.20 | 0.89 | 0.25 | 0.78 | 0.26 |
| 0.6 | 0.31 | 0.44 | 0.29 | 0.43 | 0.17 |
| 0.7 | 0.18 | 0.11 | 0.16 | 0.04 | 0.13 |
| 0.8 | 0.08 | 0.12 | 0.09 | 0.08 | 0.03 |
| 0.9 | 0.04 | 0.06 | 0.05 | 0.04 | 0.03 |
| 1 | 0.02 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| 1.1 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 1.2 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Roll Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------|------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.26 | 0.39 | 0.26 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.50 | 0.84 | 0.50 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.70 | 1.50 | 0.70 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.78 | 2.88 | 0.79 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.06 | 8.25 | 0.38 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.77 | 3.55 | 0.71 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.45 | 1.53 | 0.38 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.14 | 0.82 | 0.09 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.10 | 0.48 | 0.08 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.08 | 0.29 | 0.07 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.04 | 0.18 | 0.01 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.03 | 0.11 | 0.03 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.02 | 0.08 | 0.01 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Yaw Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 1.00 | 0.06 | 1.00 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.93 | 0.03 | 0.93 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.80 | 0.03 | 0.81 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.62 | 0.03 | 0.63 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.41 | 0.06 | 0.42 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.18 | 0.02 | 0.19 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

RAO Tanker 100.000 DWT 10% Cargo

| Wave Frequency (rad/s) | Surge Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 6.00 | 4.40 | 0.00 | 4.40 | 6.00 |
| 0.2 | 2.37 | 1.95 | 0.00 | 1.95 | 2.37 |
| 0.3 | 0.98 | 1.05 | 0.00 | 1.03 | 0.95 |
| 0.4 | 0.25 | 0.54 | 0.01 | 0.49 | 0.20 |
| 0.5 | 0.07 | 0.23 | 0.01 | 0.18 | 0.10 |
| 0.6 | 0.10 | 0.08 | 0.02 | 0.03 | 0.12 |
| 0.7 | 0.02 | 0.07 | 0.03 | 0.08 | 0.07 |
| 0.8 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.07 | 0.06 |
| 0.9 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.04 |
| 1 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.02 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Heave Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.94 | 0.97 | 1.00 | 0.97 | 0.94 |
| 0.2 | 0.75 | 0.88 | 1.02 | 0.88 | 0.75 |
| 0.3 | 0.42 | 0.70 | 1.05 | 0.71 | 0.45 |
| 0.4 | 0.08 | 0.47 | 1.10 | 0.53 | 0.20 |
| 0.5 | 0.14 | 0.21 | 1.17 | 0.34 | 0.19 |
| 0.6 | 0.16 | 0.09 | 1.15 | 0.17 | 0.22 |
| 0.7 | 0.07 | 0.19 | 0.92 | 0.15 | 0.11 |
| 0.8 | 0.07 | 0.10 | 0.57 | 0.11 | 0.07 |
| 0.9 | 0.03 | 0.04 | 0.32 | 0.03 | 0.03 |
| 1 | 0.02 | 0.03 | 0.18 | 0.02 | 0.02 |
| 1.1 | 0.01 | 0.02 | 0.10 | 0.01 | 0.01 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.06 | 0.01 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Sway Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 4.39 | 6.42 | 4.39 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 1.94 | 3.16 | 1.94 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.03 | 2.05 | 1.03 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.52 | 1.49 | 0.52 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.19 | 1.15 | 0.18 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.01 | 0.48 | 0.01 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.05 | 0.48 | 0.07 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.03 | 0.42 | 0.06 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.01 | 0.33 | 0.02 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.01 | 0.26 | 0.02 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.02 | 0.20 | 0.03 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.15 | 0.01 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.11 | 0.02 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.08 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Roll Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.26 | 0.38 | 0.26 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.51 | 0.81 | 0.51 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.71 | 1.35 | 0.71 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.83 | 2.23 | 0.84 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.73 | 4.41 | 0.76 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.50 | 7.70 | 0.45 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.62 | 2.65 | 0.55 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.29 | 1.24 | 0.25 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.07 | 0.65 | 0.01 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.11 | 0.37 | 0.08 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.04 | 0.21 | 0.04 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.04 | 0.13 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.02 | 0.08 | 0.02 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.02 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Pitch Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.36 | 0.26 | 0.00 | 0.26 | 0.36 |
| 0.2 | 0.66 | 0.51 | 0.00 | 0.51 | 0.66 |
| 0.3 | 0.81 | 0.73 | 0.01 | 0.71 | 0.79 |
| 0.4 | 0.69 | 0.85 | 0.03 | 0.81 | 0.66 |
| 0.5 | 0.32 | 0.83 | 0.07 | 0.77 | 0.34 |
| 0.6 | 0.22 | 0.61 | 0.13 | 0.58 | 0.19 |
| 0.7 | 0.26 | 0.19 | 0.15 | 0.20 | 0.21 |
| 0.8 | 0.11 | 0.16 | 0.11 | 0.10 | 0.08 |
| 0.9 | 0.07 | 0.11 | 0.07 | 0.08 | 0.05 |
| 1 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.03 |
| 1.1 | 0.02 | 0.04 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| 1.2 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 1.3 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Yaw Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.96 | 0.09 | 0.96 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.89 | 0.05 | 0.89 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.78 | 0.03 | 0.78 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.61 | 0.03 | 0.62 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.41 | 0.03 | 0.43 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.21 | 0.04 | 0.21 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.04 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.05 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

RAO Tanker 35.000 DWT *Full Cargo*

| Wave Frequency (rad/s) | Surge Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 7.08 | 5.14 | 0.01 | 5.14 | 7.08 |
| 0.2 | 2.98 | 2.36 | 0.00 | 2.35 | 2.97 |
| 0.3 | 1.44 | 1.36 | 0.01 | 1.33 | 1.40 |
| 0.4 | 0.58 | 0.79 | 0.02 | 0.72 | 0.50 |
| 0.5 | 0.10 | 0.41 | 0.04 | 0.32 | 0.01 |
| 0.6 | 0.10 | 0.17 | 0.07 | 0.08 | 0.14 |
| 0.7 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.11 |
| 0.8 | 0.01 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 0.07 |
| 0.9 | 0.02 | 0.05 | 0.02 | 0.06 | 0.05 |
| 1 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.04 |
| 1.1 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.3 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.01 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Sway Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 5.14 | 7.46 | 5.14 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 2.35 | 3.68 | 2.35 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.34 | 2.41 | 1.34 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.79 | 1.78 | 0.78 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.42 | 1.43 | 0.39 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.16 | 0.63 | 0.14 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.06 | 0.63 | 0.06 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.07 | 0.54 | 0.08 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.04 | 0.44 | 0.06 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.01 | 0.35 | 0.02 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.02 | 0.27 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.21 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.16 | 0.01 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Heave Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.96 | 0.98 | 1.01 | 0.98 | 0.96 |
| 0.2 | 0.82 | 0.93 | 1.05 | 0.93 | 0.83 |
| 0.3 | 0.56 | 0.82 | 1.13 | 0.83 | 0.59 |
| 0.4 | 0.22 | 0.63 | 1.26 | 0.70 | 0.32 |
| 0.5 | 0.15 | 0.38 | 1.48 | 0.59 | 0.20 |
| 0.6 | 0.29 | 0.14 | 1.55 | 0.40 | 0.30 |
| 0.7 | 0.12 | 0.26 | 1.09 | 0.08 | 0.23 |
| 0.8 | 0.09 | 0.17 | 0.66 | 0.14 | 0.04 |
| 0.9 | 0.06 | 0.07 | 0.37 | 0.08 | 0.05 |
| 1 | 0.02 | 0.04 | 0.21 | 0.01 | 0.02 |
| 1.1 | 0.02 | 0.03 | 0.13 | 0.02 | 0.01 |
| 1.2 | 0.01 | 0.02 | 0.08 | 0.01 | 0.01 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.00 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Pitch Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.43 | 0.31 | 0.00 | 0.31 | 0.43 |
| 0.2 | 0.80 | 0.61 | 0.01 | 0.61 | 0.80 |
| 0.3 | 1.08 | 0.92 | 0.04 | 0.89 | 1.05 |
| 0.4 | 1.13 | 1.20 | 0.10 | 1.11 | 1.06 |
| 0.5 | 0.75 | 1.33 | 0.23 | 1.18 | 0.74 |
| 0.6 | 0.20 | 1.20 | 0.45 | 1.07 | 0.28 |
| 0.7 | 0.47 | 0.60 | 0.49 | 0.63 | 0.26 |
| 0.8 | 0.30 | 0.17 | 0.29 | 0.08 | 0.23 |
| 0.9 | 0.11 | 0.19 | 0.16 | 0.13 | 0.05 |
| 1 | 0.08 | 0.12 | 0.10 | 0.10 | 0.06 |
| 1.1 | 0.03 | 0.05 | 0.06 | 0.02 | 0.03 |
| 1.2 | 0.02 | 0.05 | 0.04 | 0.03 | 0.02 |
| 1.3 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.01 |
| 1.4 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Roll Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|------------------------|------|-------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.31 | 0.45 | 0.31 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.60 | 0.96 | 0.60 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.86 | 1.66 | 0.86 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 1.07 | 2.89 | 1.07 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 1.04 | 6.40 | 1.11 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 1.05 | 11.69 | 1.18 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 1.06 | 3.94 | 1.05 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.68 | 2.09 | 0.64 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.27 | 1.29 | 0.24 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.12 | 0.84 | 0.05 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.15 | 0.58 | 0.14 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.08 | 0.40 | 0.08 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.04 | 0.28 | 0.02 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.04 | 0.20 | 0.04 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.02 | 0.15 | 0.02 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.12 | 0.02 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.01 | 0.09 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Yaw Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 1.36 | 0.01 | 1.36 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 1.30 | 0.01 | 1.30 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.18 | 0.01 | 1.18 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 1.01 | 0.02 | 1.02 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.78 | 0.05 | 0.81 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.53 | 0.09 | 0.54 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.26 | 0.03 | 0.27 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.06 | 0.02 | 0.05 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.06 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.07 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |

RAO Tanker 35.000 DWT 10% Cargo

| Wave Frequency (rad/s) | Surge Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 7.12 | 5.16 | 0.00 | 5.16 | 7.12 |
| 0.2 | 3.04 | 2.38 | 0.00 | 2.38 | 3.04 |
| 0.3 | 1.52 | 1.38 | 0.00 | 1.37 | 1.50 |
| 0.4 | 0.67 | 0.83 | 0.00 | 0.80 | 0.62 |
| 0.5 | 0.17 | 0.47 | 0.01 | 0.41 | 0.12 |
| 0.6 | 0.06 | 0.23 | 0.01 | 0.17 | 0.09 |
| 0.7 | 0.10 | 0.09 | 0.03 | 0.03 | 0.12 |
| 0.8 | 0.04 | 0.06 | 0.04 | 0.07 | 0.07 |
| 0.9 | 0.01 | 0.05 | 0.03 | 0.07 | 0.05 |
| 1 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.05 |
| 1.1 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.03 |
| 1.2 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.02 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Heave Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.96 | 0.98 | 1.00 | 0.98 | 0.96 |
| 0.2 | 0.82 | 0.91 | 1.02 | 0.92 | 0.82 |
| 0.3 | 0.59 | 0.79 | 1.04 | 0.80 | 0.59 |
| 0.4 | 0.29 | 0.62 | 1.08 | 0.64 | 0.34 |
| 0.5 | 0.02 | 0.41 | 1.13 | 0.49 | 0.17 |
| 0.6 | 0.16 | 0.19 | 1.21 | 0.33 | 0.20 |
| 0.7 | 0.18 | 0.09 | 1.24 | 0.19 | 0.24 |
| 0.8 | 0.07 | 0.23 | 1.10 | 0.16 | 0.16 |
| 0.9 | 0.09 | 0.15 | 0.78 | 0.16 | 0.07 |
| 1 | 0.05 | 0.06 | 0.48 | 0.06 | 0.05 |
| 1.1 | 0.02 | 0.05 | 0.29 | 0.02 | 0.02 |
| 1.2 | 0.01 | 0.03 | 0.17 | 0.02 | 0.01 |
| 1.3 | 0.01 | 0.02 | 0.11 | 0.01 | 0.01 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.07 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Sway Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 5.15 | 7.46 | 5.15 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 2.36 | 3.69 | 2.36 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.36 | 2.42 | 1.35 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.80 | 1.77 | 0.80 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.44 | 1.39 | 0.43 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.18 | 1.10 | 0.15 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.03 | 0.60 | 0.01 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.06 | 0.58 | 0.07 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.05 | 0.49 | 0.07 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.01 | 0.41 | 0.04 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.02 | 0.33 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.27 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.02 | 0.21 | 0.03 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.16 | 0.02 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.13 | 0.02 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.01 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Roll Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------------|------------------------|------|-------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.31 | 0.44 | 0.31 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.61 | 0.93 | 0.61 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.90 | 1.54 | 0.90 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 1.18 | 2.44 | 1.17 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 1.45 | 4.21 | 1.44 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 1.56 | 10.10 | 1.63 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.46 | 7.72 | 0.46 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.74 | 3.08 | 0.66 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.52 | 1.66 | 0.45 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.21 | 0.98 | 0.17 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.10 | 0.60 | 0.05 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.14 | 0.38 | 0.11 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.05 | 0.24 | 0.06 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.05 | 0.16 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.03 | 0.10 | 0.03 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.02 | 0.07 | 0.02 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Pitch Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.43 | 0.31 | 0.00 | 0.31 | 0.43 |
| 0.2 | 0.79 | 0.60 | 0.00 | 0.60 | 0.79 |
| 0.3 | 1.05 | 0.87 | 0.01 | 0.86 | 1.04 |
| 0.4 | 1.10 | 1.09 | 0.02 | 1.06 | 1.07 |
| 0.5 | 0.85 | 1.20 | 0.05 | 1.14 | 0.83 |
| 0.6 | 0.41 | 1.16 | 0.10 | 1.08 | 0.43 |
| 0.7 | 0.28 | 0.92 | 0.19 | 0.87 | 0.27 |
| 0.8 | 0.42 | 0.37 | 0.25 | 0.39 | 0.34 |
| 0.9 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.10 | 0.17 |
| 1 | 0.12 | 0.23 | 0.14 | 0.15 | 0.08 |
| 1.1 | 0.07 | 0.12 | 0.09 | 0.07 | 0.06 |
| 1.2 | 0.03 | 0.07 | 0.06 | 0.03 | 0.03 |
| 1.3 | 0.02 | 0.05 | 0.04 | 0.02 | 0.02 |
| 1.4 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 1.6 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Yaw Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 1.27 | 0.00 | 1.27 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 1.21 | 0.00 | 1.21 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.11 | 0.01 | 1.11 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.96 | 0.01 | 0.97 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.77 | 0.02 | 0.78 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.53 | 0.05 | 0.56 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.30 | 0.05 | 0.31 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.08 | 0.03 | 0.10 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.06 | 0.02 | 0.08 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |

RAO Tanker 17.500 DWT *Full Cargo*

| Wave Frequency (rad/s) | Surge Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 7.19 | 5.18 | 0.00 | 5.18 | 7.19 |
| 0.2 | 3.17 | 2.43 | 0.00 | 2.43 | 3.17 |
| 0.3 | 1.68 | 1.45 | 0.00 | 1.44 | 1.67 |
| 0.4 | 0.86 | 0.92 | 0.01 | 0.89 | 0.81 |
| 0.5 | 0.33 | 0.57 | 0.02 | 0.50 | 0.26 |
| 0.6 | 0.03 | 0.31 | 0.03 | 0.24 | 0.03 |
| 0.7 | 0.10 | 0.14 | 0.04 | 0.07 | 0.13 |
| 0.8 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.11 |
| 0.9 | 0.01 | 0.05 | 0.05 | 0.08 | 0.07 |
| 1 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.06 | 0.05 |
| 1.1 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.05 |
| 1.2 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| 1.3 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |

| Wave Frequency (rad/s) | Sway Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 5.17 | 7.46 | 5.18 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 2.42 | 3.70 | 2.43 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.44 | 2.43 | 1.45 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.90 | 1.80 | 0.91 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.55 | 1.42 | 0.56 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.29 | 1.18 | 0.28 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.11 | 0.59 | 0.10 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.05 | 0.57 | 0.03 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.06 | 0.51 | 0.07 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.04 | 0.43 | 0.06 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.35 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.02 | 0.29 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.23 | 0.02 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.19 | 0.02 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.15 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.12 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Heave Amplitude (m/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.97 | 0.98 | 1.00 | 0.98 | 0.97 |
| 0.2 | 0.86 | 0.94 | 1.02 | 0.94 | 0.86 |
| 0.3 | 0.68 | 0.85 | 1.05 | 0.86 | 0.69 |
| 0.4 | 0.43 | 0.71 | 1.09 | 0.74 | 0.47 |
| 0.5 | 0.16 | 0.53 | 1.17 | 0.63 | 0.29 |
| 0.6 | 0.14 | 0.33 | 1.28 | 0.52 | 0.23 |
| 0.7 | 0.22 | 0.19 | 1.39 | 0.40 | 0.29 |
| 0.8 | 0.09 | 0.29 | 1.21 | 0.16 | 0.27 |
| 0.9 | 0.10 | 0.21 | 0.85 | 0.17 | 0.08 |
| 1 | 0.08 | 0.09 | 0.51 | 0.12 | 0.07 |
| 1.1 | 0.04 | 0.05 | 0.30 | 0.02 | 0.04 |
| 1.2 | 0.02 | 0.04 | 0.18 | 0.02 | 0.02 |
| 1.3 | 0.01 | 0.02 | 0.11 | 0.02 | 0.01 |
| 1.4 | 0.01 | 0.01 | 0.07 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.01 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Pitch Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.43 | 0.31 | 0.00 | 0.31 | 0.43 |
| 0.2 | 0.82 | 0.61 | 0.01 | 0.61 | 0.81 |
| 0.3 | 1.12 | 0.90 | 0.02 | 0.89 | 1.11 |
| 0.4 | 1.28 | 1.17 | 0.06 | 1.13 | 1.24 |
| 0.5 | 1.17 | 1.38 | 0.11 | 1.29 | 1.12 |
| 0.6 | 0.73 | 1.45 | 0.22 | 1.32 | 0.74 |
| 0.7 | 0.25 | 1.31 | 0.42 | 1.20 | 0.32 |
| 0.8 | 0.53 | 0.70 | 0.60 | 0.77 | 0.32 |
| 0.9 | 0.40 | 0.23 | 0.47 | 0.17 | 0.29 |
| 1 | 0.18 | 0.28 | 0.29 | 0.14 | 0.08 |
| 1.1 | 0.13 | 0.20 | 0.17 | 0.14 | 0.08 |
| 1.2 | 0.06 | 0.09 | 0.11 | 0.04 | 0.04 |
| 1.3 | 0.04 | 0.07 | 0.07 | 0.03 | 0.03 |
| 1.4 | 0.02 | 0.05 | 0.05 | 0.02 | 0.02 |
| 1.5 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| 1.6 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| 1.7 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 1.8 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Roll Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|------------------------|------|-------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.31 | 0.44 | 0.31 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.60 | 0.93 | 0.60 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.87 | 1.51 | 0.88 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 1.10 | 2.34 | 1.12 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 1.26 | 3.81 | 1.29 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 1.12 | 7.79 | 1.26 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.97 | 13.61 | 0.89 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 1.23 | 4.87 | 1.15 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.83 | 2.50 | 0.76 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.36 | 1.50 | 0.31 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.16 | 0.94 | 0.07 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.20 | 0.62 | 0.17 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.12 | 0.41 | 0.12 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.06 | 0.29 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.07 | 0.20 | 0.05 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.03 | 0.15 | 0.03 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.03 | 0.11 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.01 | 0.08 | 0.02 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Yaw Amplitude (deg/m) | | | | |
|---------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 1.00 | 0.06 | 1.00 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.93 | 0.03 | 0.93 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.80 | 0.03 | 0.81 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.62 | 0.03 | 0.63 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.41 | 0.06 | 0.42 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.18 | 0.02 | 0.19 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.03 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.04 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |

RAO Tanker 17.500 DWT 10% Cargo

| Wave Frequency (rad/s) | Surge Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 7.21 | 5.19 | 0.00 | 5.19 | 7.21 |
| 0.2 | 3.21 | 2.45 | 0.00 | 2.45 | 3.21 |
| 0.3 | 1.73 | 1.47 | 0.00 | 1.47 | 1.72 |
| 0.4 | 0.91 | 0.95 | 0.00 | 0.93 | 0.88 |
| 0.5 | 0.38 | 0.60 | 0.01 | 0.56 | 0.34 |
| 0.6 | 0.07 | 0.34 | 0.01 | 0.30 | 0.03 |
| 0.7 | 0.08 | 0.17 | 0.02 | 0.12 | 0.10 |
| 0.8 | 0.09 | 0.07 | 0.03 | 0.02 | 0.10 |
| 0.9 | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.07 | 0.06 |
| 1 | 0.01 | 0.05 | 0.03 | 0.07 | 0.05 |
| 1.1 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.05 | 0.05 |
| 1.2 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.04 |
| 1.3 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.03 | 0.03 |
| 1.4 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.02 |
| 1.5 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.01 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.7 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 |

| Wave Frequency (rad/s) | Heave Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.97 | 0.98 | 1.00 | 0.98 | 0.97 |
| 0.2 | 0.87 | 0.93 | 1.01 | 0.93 | 0.87 |
| 0.3 | 0.69 | 0.84 | 1.02 | 0.85 | 0.69 |
| 0.4 | 0.45 | 0.71 | 1.04 | 0.73 | 0.48 |
| 0.5 | 0.20 | 0.54 | 1.07 | 0.59 | 0.29 |
| 0.6 | 0.05 | 0.36 | 1.11 | 0.46 | 0.20 |
| 0.7 | 0.16 | 0.17 | 1.16 | 0.33 | 0.22 |
| 0.8 | 0.14 | 0.14 | 1.18 | 0.21 | 0.24 |
| 0.9 | 0.05 | 0.23 | 1.06 | 0.18 | 0.17 |
| 1 | 0.09 | 0.14 | 0.79 | 0.18 | 0.09 |
| 1.1 | 0.06 | 0.05 | 0.51 | 0.07 | 0.06 |
| 1.2 | 0.03 | 0.05 | 0.32 | 0.03 | 0.03 |
| 1.3 | 0.02 | 0.04 | 0.20 | 0.03 | 0.02 |
| 1.4 | 0.01 | 0.02 | 0.13 | 0.01 | 0.01 |
| 1.5 | 0.00 | 0.02 | 0.08 | 0.01 | 0.01 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.06 | 0.01 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.01 | 0.04 | 0.00 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Sway Amplitude (m/m) | | | | |
|------------------------|----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 5.18 | 7.46 | 5.18 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 2.43 | 3.71 | 2.43 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.45 | 2.45 | 1.46 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 0.91 | 1.81 | 0.92 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.56 | 1.43 | 0.57 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.31 | 1.17 | 0.31 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.12 | 0.98 | 0.10 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.02 | 0.46 | 0.01 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.05 | 0.49 | 0.05 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.04 | 0.45 | 0.06 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.00 | 0.39 | 0.04 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.02 | 0.33 | 0.02 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.01 | 0.27 | 0.02 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.02 | 0.22 | 0.03 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.00 | 0.18 | 0.02 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.14 | 0.02 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.01 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.01 | 0.09 | 0.01 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Roll Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------|------------------------|------|-------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 0.31 | 0.44 | 0.31 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 0.60 | 0.91 | 0.60 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 0.88 | 1.45 | 0.88 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 1.11 | 2.12 | 1.12 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 1.29 | 3.10 | 1.31 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 1.33 | 4.88 | 1.38 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.90 | 9.56 | 1.04 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 1.12 | 11.81 | 1.01 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 1.16 | 4.75 | 1.08 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.70 | 2.48 | 0.64 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.26 | 1.45 | 0.20 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.16 | 0.91 | 0.11 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.21 | 0.58 | 0.17 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.09 | 0.39 | 0.09 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.07 | 0.26 | 0.02 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.06 | 0.18 | 0.04 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.03 | 0.12 | 0.03 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.03 | 0.08 | 0.01 | 0.00 |

| Wave Frequency (rad/s) | Pitch Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------------|-------------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.43 | 0.31 | 0.00 | 0.31 | 0.43 |
| 0.2 | 0.81 | 0.60 | 0.00 | 0.60 | 0.81 |
| 0.3 | 1.11 | 0.88 | 0.01 | 0.88 | 1.11 |
| 0.4 | 1.27 | 1.13 | 0.03 | 1.11 | 1.25 |
| 0.5 | 1.19 | 1.31 | 0.05 | 1.26 | 1.16 |
| 0.6 | 0.84 | 1.36 | 0.09 | 1.29 | 0.83 |
| 0.7 | 0.37 | 1.27 | 0.16 | 1.19 | 0.42 |
| 0.8 | 0.37 | 0.95 | 0.28 | 0.92 | 0.33 |
| 0.9 | 0.47 | 0.35 | 0.36 | 0.42 | 0.39 |
| 1 | 0.25 | 0.27 | 0.31 | 0.12 | 0.20 |
| 1.1 | 0.17 | 0.29 | 0.21 | 0.20 | 0.10 |
| 1.2 | 0.10 | 0.15 | 0.14 | 0.10 | 0.07 |
| 1.3 | 0.05 | 0.09 | 0.09 | 0.03 | 0.04 |
| 1.4 | 0.03 | 0.07 | 0.06 | 0.03 | 0.03 |
| 1.5 | 0.02 | 0.04 | 0.04 | 0.02 | 0.02 |
| 1.6 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.01 | 0.01 |
| 1.7 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.01 |
| 1.8 | 0.01 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |

| Wave Frequency (rad/s) | Yaw Amplitude (deg/m) | | | | |
|------------------------------|-----------------------|------|------|------|------|
| | 0° | 45° | 90° | 135° | 180° |
| 0.1 | 0.00 | 1.34 | 0.53 | 1.34 | 0.00 |
| 0.2 | 0.00 | 1.26 | 0.26 | 1.26 | 0.00 |
| 0.3 | 0.00 | 1.18 | 0.17 | 1.18 | 0.00 |
| 0.4 | 0.00 | 1.08 | 0.13 | 1.07 | 0.00 |
| 0.5 | 0.00 | 0.93 | 0.11 | 0.93 | 0.00 |
| 0.6 | 0.00 | 0.74 | 0.10 | 0.75 | 0.00 |
| 0.7 | 0.00 | 0.52 | 0.10 | 0.54 | 0.00 |
| 0.8 | 0.00 | 0.29 | 0.04 | 0.29 | 0.00 |
| 0.9 | 0.00 | 0.07 | 0.01 | 0.09 | 0.00 |
| 1 | 0.00 | 0.06 | 0.02 | 0.05 | 0.00 |
| 1.1 | 0.00 | 0.08 | 0.02 | 0.08 | 0.00 |
| 1.2 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.05 | 0.00 |
| 1.3 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.05 | 0.00 |
| 1.4 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.00 |
| 1.5 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.04 | 0.00 |
| 1.6 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.00 |
| 1.7 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.03 | 0.00 |
| 1.8 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |

LAMPIRAN B-2
HASIL SIMULASI *TIME*
DOMAIN - TENSION

| No. | SPM | Tanker | Kode Kasus | Tension (kN) | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------------|-----------------|--------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
| | | | | Line 1 | | Line 2 | | Line 3 | | Line 4 | | Line 5 | | Line 6 | |
| | | | | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant |
| 1 | #150 | 150.000 DWT | #150-150-I-FL-C | 428.90 | 495.41 | 539.68 | 619.61 | 722.49 | 805.33 | 449.36 | 513.40 | 645.05 | 746.87 | 710.66 | 771.93 |
| 2 | | | #150-150-B-FL-C | 483.36 | 560.22 | 501.34 | 543.98 | 705.75 | 788.83 | 414.56 | 476.14 | 470.14 | 502.45 | 814.20 | 920.74 |
| 3 | | | #150-150-I-BL-C | 505.11 | 605.11 | 576.96 | 668.72 | 835.09 | 969.70 | 498.64 | 587.55 | 675.77 | 794.90 | 765.43 | 853.47 |
| 4 | | | #150-150-B-BL-C | 500.47 | 589.18 | 512.38 | 561.19 | 743.09 | 837.46 | 446.34 | 519.25 | 481.54 | 517.70 | 833.85 | 955.91 |
| 5 | | 100.000 DWT | #150-100-I-FL-C | 455.83 | 533.65 | 567.52 | 657.05 | 758.12 | 856.51 | 468.57 | 543.70 | 663.65 | 778.27 | 727.09 | 797.59 |
| 6 | | | #150-100-B-FL-C | 493.76 | 574.48 | 502.13 | 545.44 | 694.91 | 775.91 | 414.14 | 475.67 | 469.71 | 501.63 | 817.24 | 924.58 |
| 7 | | | #150-100-I-BL-C | 571.38 | 700.72 | 581.75 | 672.68 | 930.27 | 1107.76 | 536.72 | 642.30 | 678.65 | 796.59 | 823.47 | 937.62 |
| 8 | | | #150-100-B-BL-C | 494.32 | 583.03 | 512.50 | 562.31 | 759.42 | 856.48 | 460.57 | 537.37 | 485.62 | 522.88 | 826.20 | 949.71 |
| 9 | | STAND ALONE | #150-SA-I-C | 560.79 | 675.34 | 692.79 | 816.23 | 904.45 | 1051.86 | 628.06 | 778.91 | 611.45 | 710.68 | 1033.42 | 1252.23 |
| 10 | | | #150-SA-B-C | 552.86 | 632.92 | 525.75 | 566.40 | 659.21 | 738.07 | 517.24 | 586.08 | 519.50 | 557.22 | 705.93 | 799.56 |
| 11 | #035 | 35.000 DWT | #035-35-I-FL-C | 513.28 | 555.52 | 573.89 | 665.87 | 438.88 | 484.46 | 504.84 | 549.15 | 520.00 | 596.61 | 428.53 | 474.43 |
| 12 | | | #035-35-B-FL-C | 547.36 | 616.82 | 429.58 | 452.09 | 502.53 | 578.10 | 595.77 | 678.45 | 421.78 | 440.25 | 458.98 | 522.64 |
| 13 | | | #035-35-I-BL-C | 541.15 | 598.05 | 577.91 | 672.72 | 462.99 | 521.18 | 565.51 | 639.79 | 535.59 | 616.83 | 482.48 | 554.60 |
| 14 | | | #035-35-B-BL-C | 558.53 | 630.92 | 430.27 | 453.25 | 501.61 | 579.09 | 593.65 | 677.90 | 423.30 | 442.38 | 469.43 | 536.07 |
| 15 | | 17.500 DWT | #035-17-I-FL-C | 578.07 | 651.72 | 582.61 | 676.67 | 496.77 | 570.19 | 630.30 | 736.05 | 534.16 | 613.95 | 541.54 | 642.17 |
| 16 | | | #035-17-B-FL-C | 547.36 | 616.82 | 429.58 | 452.09 | 502.53 | 578.10 | 595.77 | 678.45 | 421.78 | 440.25 | 458.98 | 522.64 |
| 17 | | | #035-17-I-BL-C | 506.46 | 547.10 | 527.13 | 599.60 | 427.62 | 468.93 | 515.43 | 563.60 | 503.34 | 567.68 | 434.94 | 482.23 |
| 18 | | | #035-17-B-BL-C | 560.90 | 633.42 | 428.95 | 451.36 | 498.27 | 575.16 | 590.02 | 673.69 | 422.26 | 440.80 | 471.49 | 538.22 |
| 19 | | STAND ALONE | #035-SA-I-C | 579.06 | 659.15 | 541.52 | 623.99 | 493.70 | 570.69 | 544.99 | 604.21 | 574.67 | 668.71 | 466.66 | 527.04 |
| 20 | | | #035-SA-B-C | 555.08 | 625.61 | 424.95 | 444.81 | 497.81 | 573.44 | 595.56 | 677.93 | 416.52 | 431.79 | 459.84 | 523.86 |

LAMPIRAN B-3
HASIL SIMULASI *TIME*
DOMAIN - MOTION

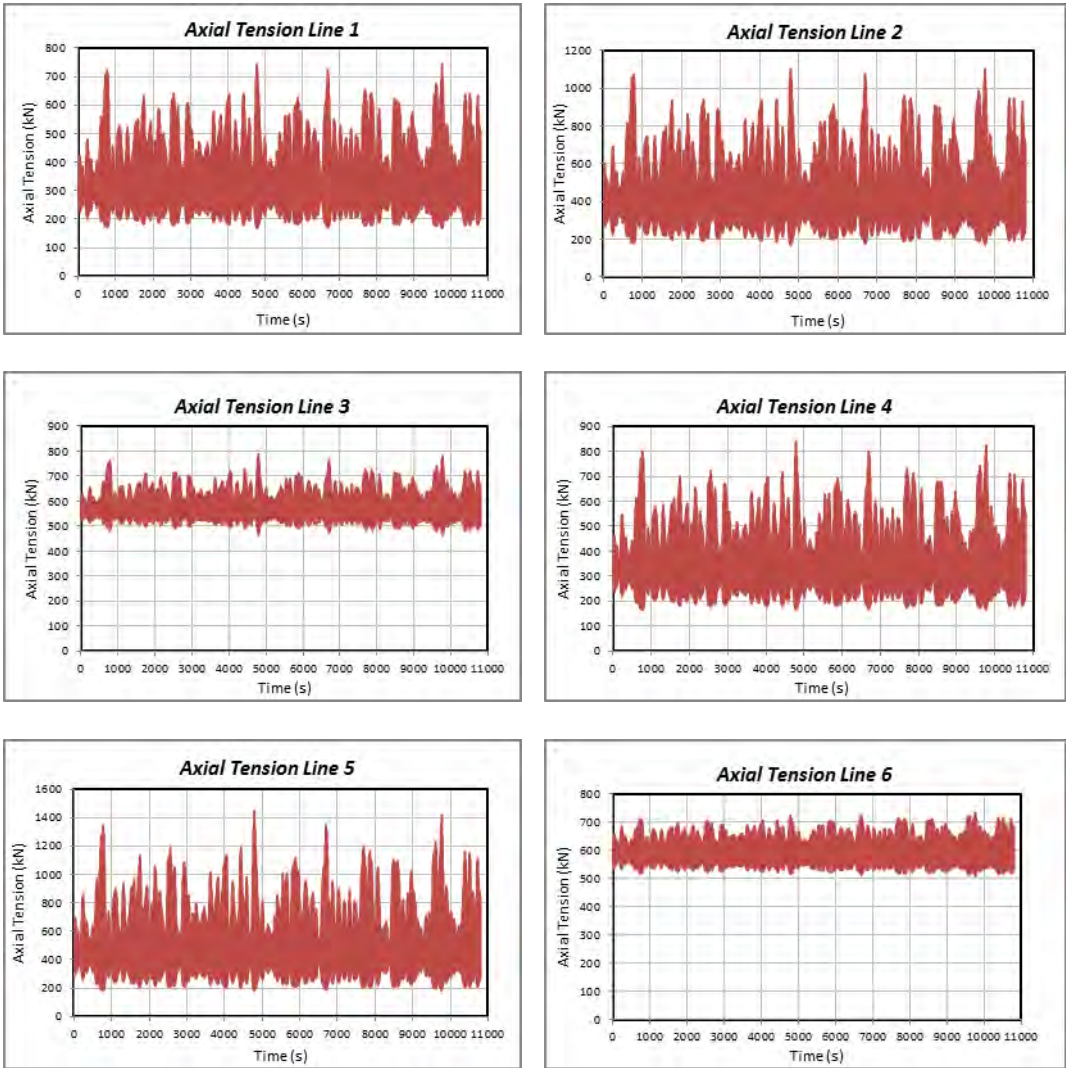
| No. | SPM | Tanker | Kode Kasus | Motion | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------------|-----------------|-----------|-------------|----------|-------------|-----------|-------------|------------------|------------|-------------|------------------|-------------|-------------|------------------|-----------|-------------|
| | | | | Surge (m) | | Sway (m) | | Heave (m) | | | Roll (deg) | | | Pitch (deg) | | | Yaw (deg) | |
| | | | | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant | Not Operable (%) | Average | Significant | Not Operable (%) | Average | Significant | Not Operable (%) | Average | Significant |
| 1 | #150 | 150.000 DWT | #150-150-I-FL-C | 0.562 | 0.900 | 0.160 | 0.257 | 0.484 | 0.775 | 0.000 | 0.796 | 1.274 | 0.000 | 3.590 | 5.743 | 0.000 | 4.616 | 7.386 |
| 2 | | | #150-150-B-FL-C | 0.236 | 0.378 | 0.423 | 0.677 | 0.556 | 0.889 | 0.015 | 2.673 | 4.276 | 0.000 | 1.316 | 2.106 | 0.000 | 4.272 | 6.836 |
| 3 | | | #150-150-I-BL-C | 0.635 | 1.017 | 0.199 | 0.318 | 0.489 | 0.783 | 0.000 | 1.007 | 1.612 | 0.000 | 4.061 | 6.498 | 0.000 | 7.417 | 11.868 |
| 4 | | | #150-150-B-BL-C | 0.271 | 0.433 | 0.457 | 0.731 | 0.478 | 0.765 | 0.001 | 2.584 | 4.134 | 0.000 | 1.223 | 1.957 | 0.000 | 5.417 | 8.667 |
| 5 | | 100.000 DWT | #150-100-I-FL-C | 0.613 | 0.980 | 0.174 | 0.278 | 0.748 | 1.197 | 0.084 | 0.825 | 1.320 | 0.000 | 3.880 | 6.208 | 0.012 | 5.488 | 8.781 |
| 6 | | | #150-100-B-FL-C | 0.248 | 0.396 | 0.441 | 0.705 | 0.499 | 0.798 | 0.002 | 2.529 | 4.047 | 0.000 | 1.127 | 1.804 | 0.000 | 4.198 | 6.718 |
| 7 | | | #150-100-I-BL-C | 0.611 | 0.978 | 0.218 | 0.348 | 0.459 | 0.734 | 0.004 | 1.288 | 2.060 | 0.000 | 4.068 | 6.509 | 0.000 | 9.263 | 14.821 |
| 8 | | | #150-100-B-BL-C | 0.280 | 0.449 | 0.473 | 0.756 | 0.437 | 0.699 | 0.000 | 2.637 | 4.219 | 0.000 | 1.191 | 1.906 | 0.000 | 5.514 | 8.823 |
| 9 | | STAND ALONE | #150-SA-I-C | 0.601 | 0.962 | 0.243 | 0.389 | 0.507 | 0.811 | 0.231 | 4.995 | 7.993 | 0.002 | 4.522 | 7.236 | 0.005 | 10.276 | 16.442 |
| 10 | | | #150-SA-B-C | 0.116 | 0.186 | 0.430 | 0.689 | 1.142 | 1.828 | 4.203 | 2.616 | 4.186 | 0.000 | 0.587 | 0.939 | 0.000 | 2.155 | 3.449 |

| No. | SPM | Tanker | Kode Kasus | Motion | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|------|-------------|----------------|-----------|-------------|----------|-------------|-----------|-------------|------------------|------------|-------------|------------------|-------------|-------------|------------------|-----------|-------------|
| | | | | Surge (m) | | Sway (m) | | Heave (m) | | | Roll (deg) | | | Pitch (deg) | | | Yaw (deg) | |
| | | | | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant | Not Operable (%) | Average | Significant | Not Operable (%) | Average | Significant | Not Operable (%) | Average | Significant |
| 11 | #035 | 35.000 DWT | #035-35-I-FL-C | 0.448 | 0.716 | 0.473 | 0.756 | 0.423 | 0.677 | 0.000 | 0.362 | 0.579 | 0.000 | 4.210 | 6.736 | 0.000 | 1.858 | 2.974 |
| 12 | | | #035-35-B-FL-C | 0.061 | 0.098 | 0.370 | 0.592 | 0.602 | 0.964 | 0.002 | 3.083 | 4.932 | 0.000 | 0.535 | 0.855 | 0.000 | 2.344 | 3.750 |
| 13 | | | #035-35-I-BL-C | 0.463 | 0.741 | 0.075 | 0.120 | 0.452 | 0.724 | 0.000 | 0.596 | 0.953 | 0.000 | 4.331 | 6.930 | 0.000 | 3.630 | 5.808 |
| 14 | | | #035-35-B-BL-C | 0.063 | 0.101 | 0.379 | 0.606 | 0.612 | 0.979 | 0.000 | 3.118 | 4.989 | 0.000 | 0.536 | 0.858 | 0.000 | 2.474 | 3.958 |
| 15 | | 17.500 DWT | #035-17-I-FL-C | 0.453 | 0.726 | 0.108 | 0.172 | 0.426 | 0.682 | 0.000 | 0.863 | 1.380 | 0.000 | 4.288 | 6.861 | 0.000 | 5.341 | 8.545 |
| 16 | | | #035-17-B-FL-C | 0.061 | 0.098 | 0.370 | 0.592 | 0.602 | 0.964 | 0.002 | 3.083 | 4.932 | 0.000 | 0.535 | 0.855 | 0.000 | 2.344 | 3.750 |
| 17 | | | #035-17-I-BL-C | 0.363 | 0.580 | 0.044 | 0.070 | 0.620 | 0.991 | 0.006 | 0.395 | 0.631 | 0.000 | 3.458 | 5.532 | 0.000 | 2.135 | 3.417 |
| 18 | | | #035-17-B-BL-C | 0.063 | 0.100 | 0.386 | 0.617 | 0.592 | 0.947 | 0.002 | 3.169 | 5.070 | 0.000 | 0.517 | 0.827 | 0.000 | 2.313 | 3.701 |
| 19 | | STAND ALONE | #035-SA-I-C | 0.464 | 0.743 | 0.080 | 0.128 | 0.444 | 0.711 | 0.000 | 0.624 | 0.998 | 0.000 | 4.340 | 6.944 | 0.000 | 3.921 | 6.274 |
| 20 | | | #035-SA-B-C | 0.060 | 0.096 | 0.385 | 0.617 | 0.483 | 0.772 | 0.000 | 3.163 | 5.061 | 0.000 | 0.489 | 0.782 | 0.000 | 2.167 | 3.467 |

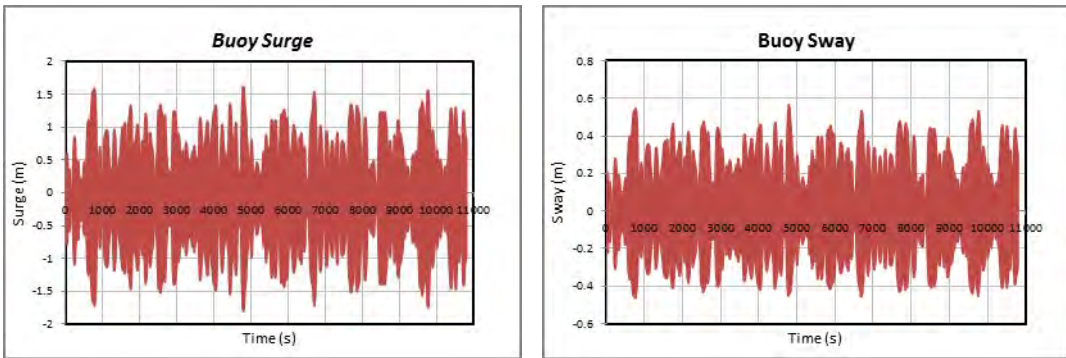
LAMPIRAN B-4
GRAFIK SIMULASI *TIME DOMAIN*
VARIASI H_s

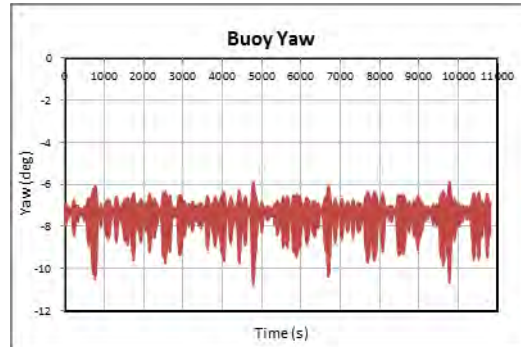
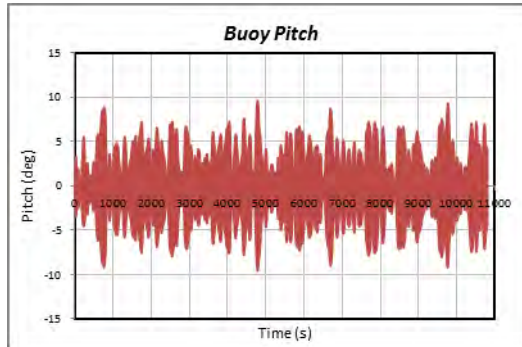
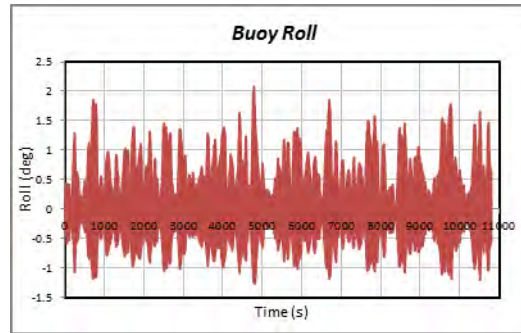
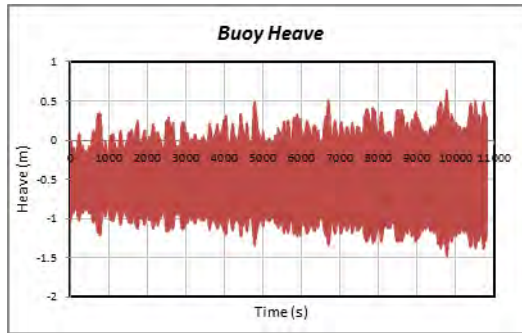
Tanker 150.000 DWT – H_s 1.25 m

Tension



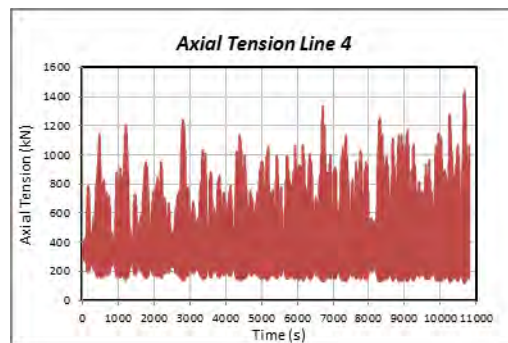
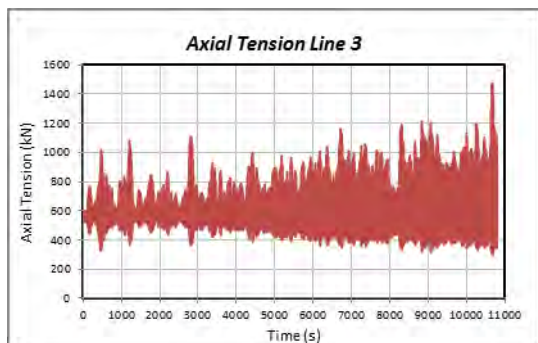
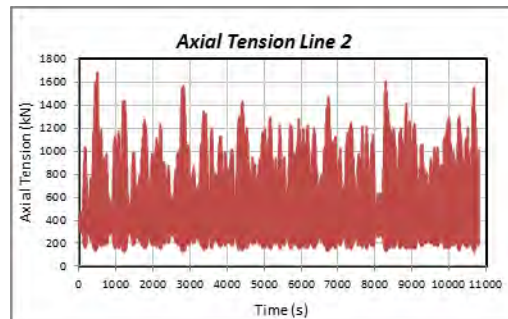
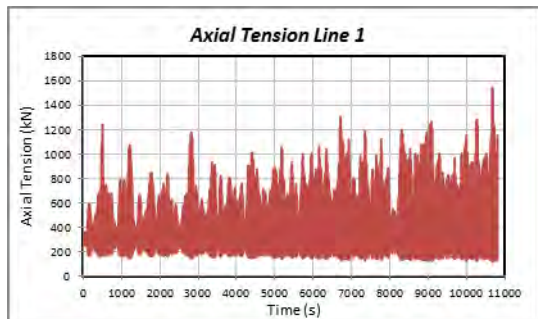
Motion

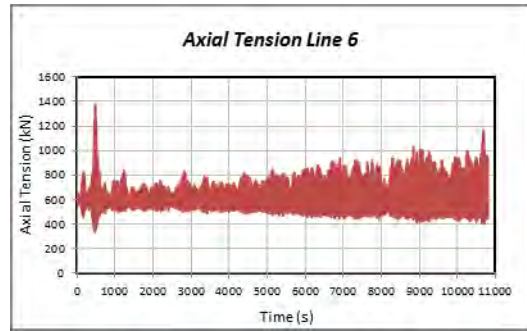
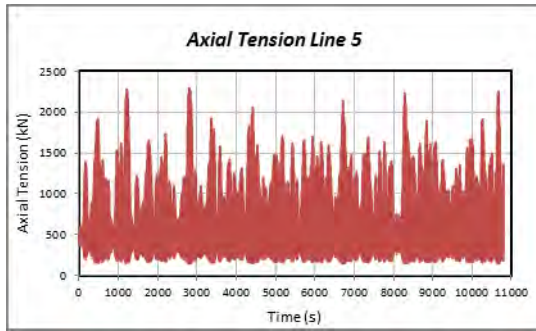




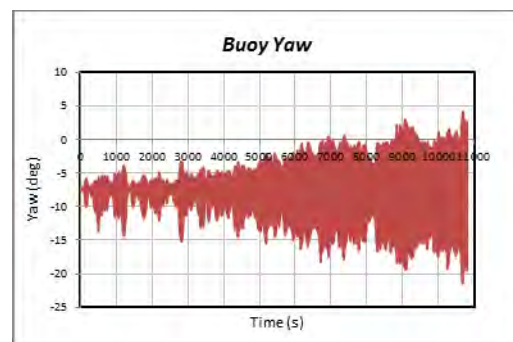
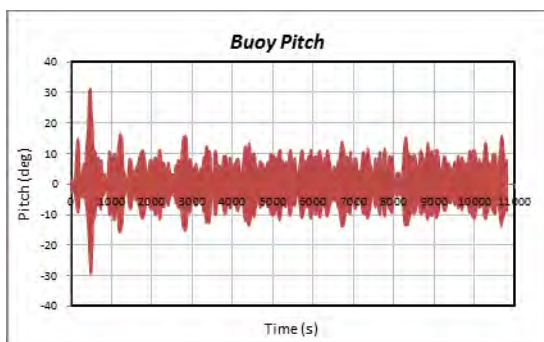
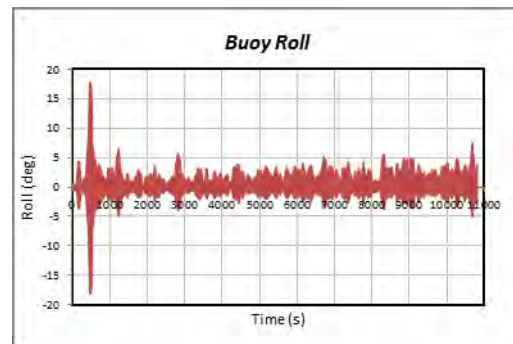
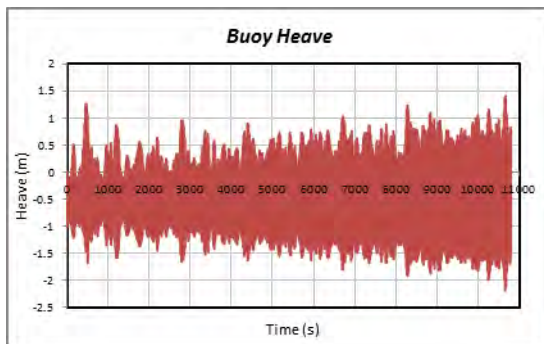
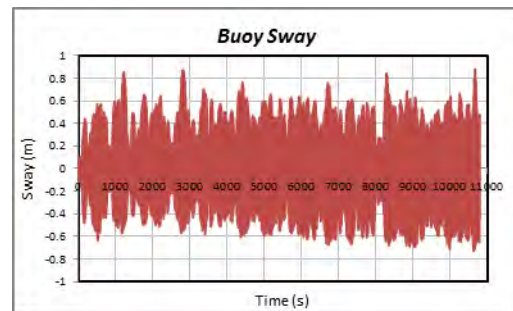
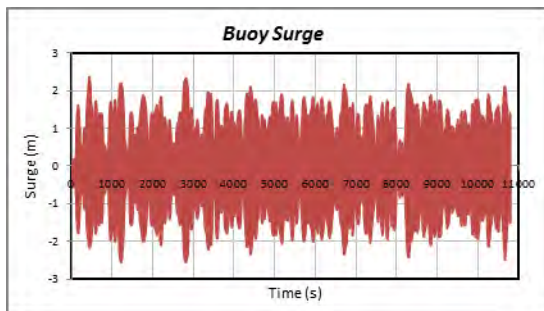
Tanker 150.000 DWT – H_s 2.5 m

Tension



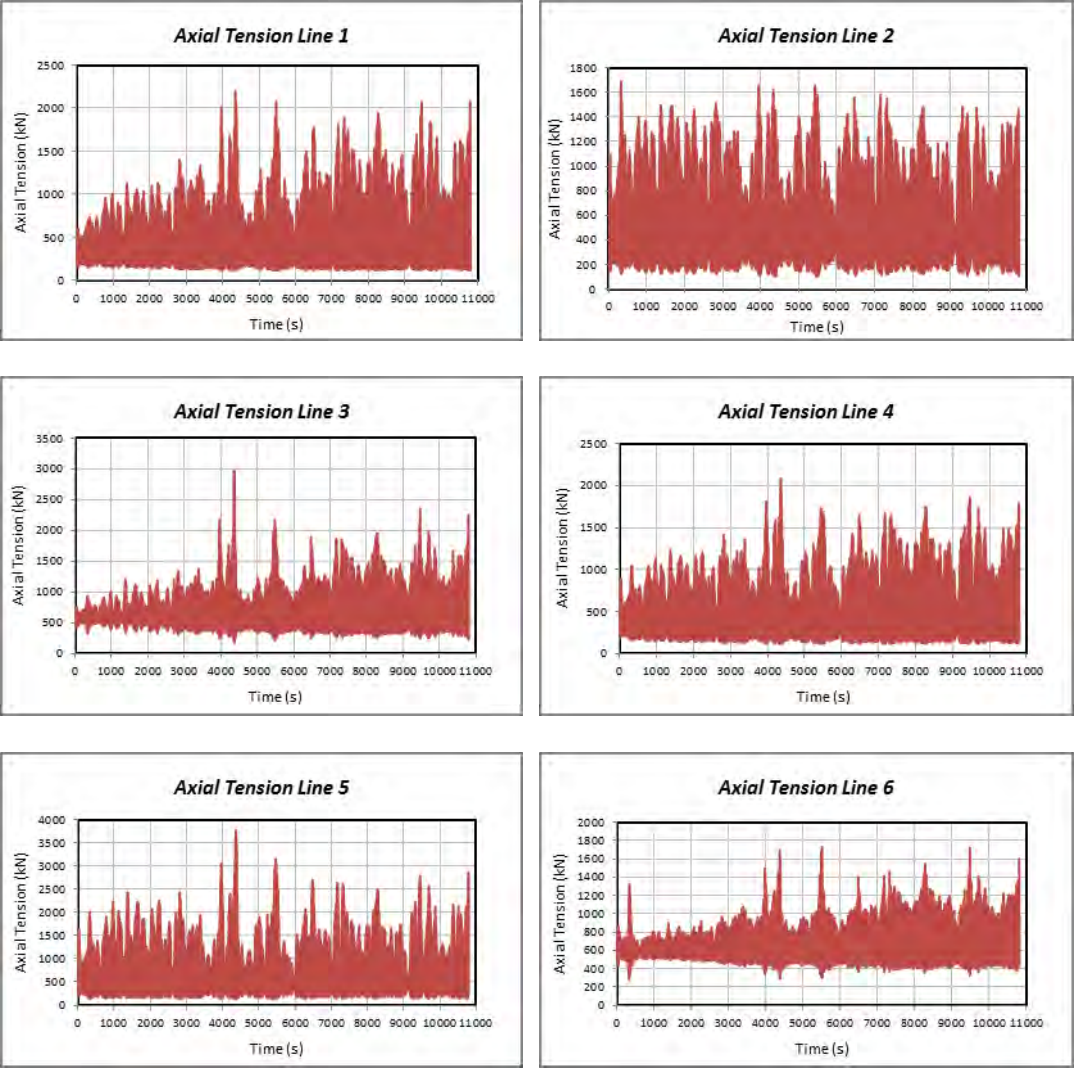


Motion

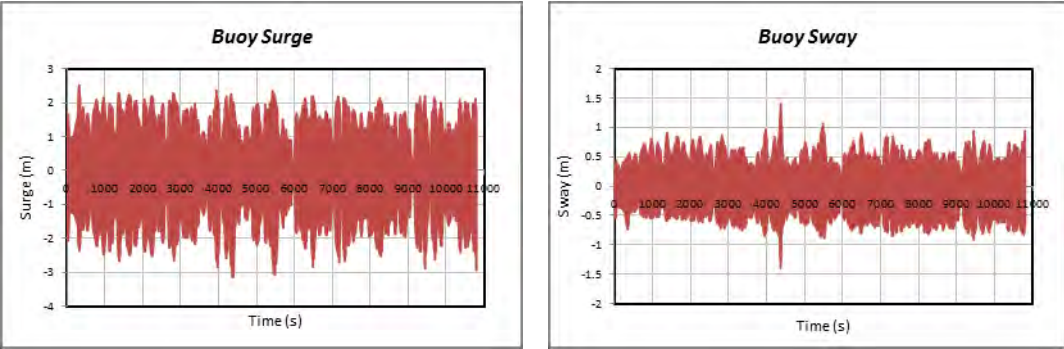


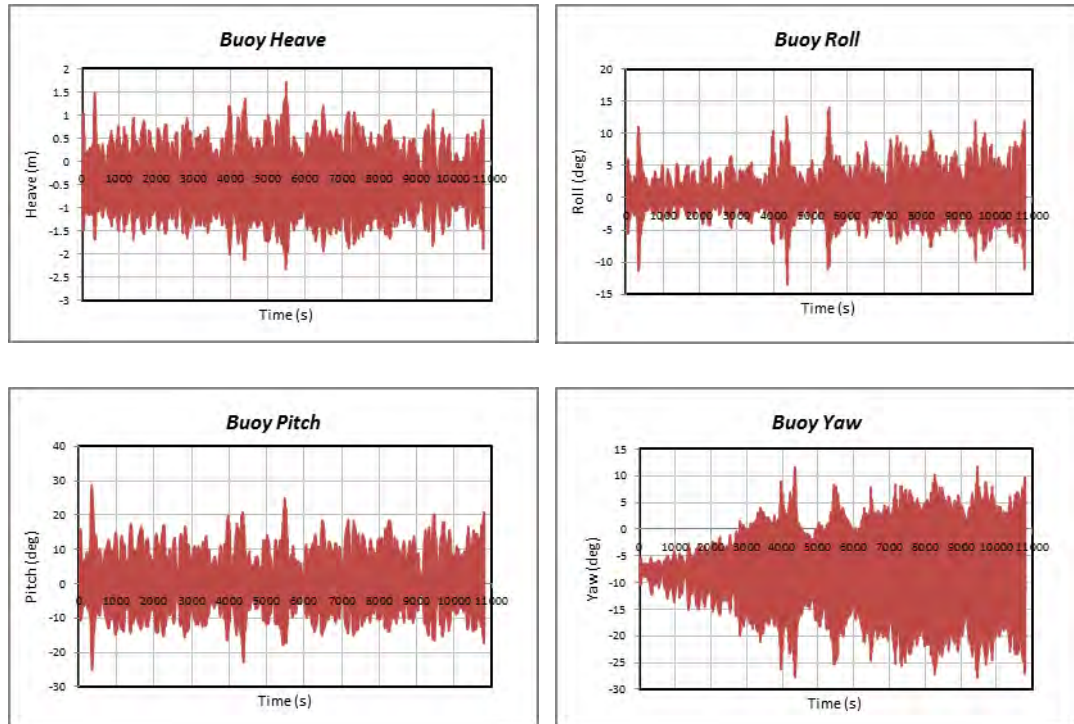
Tanker 150.000 DWT – H_s 3.5 m

Tension



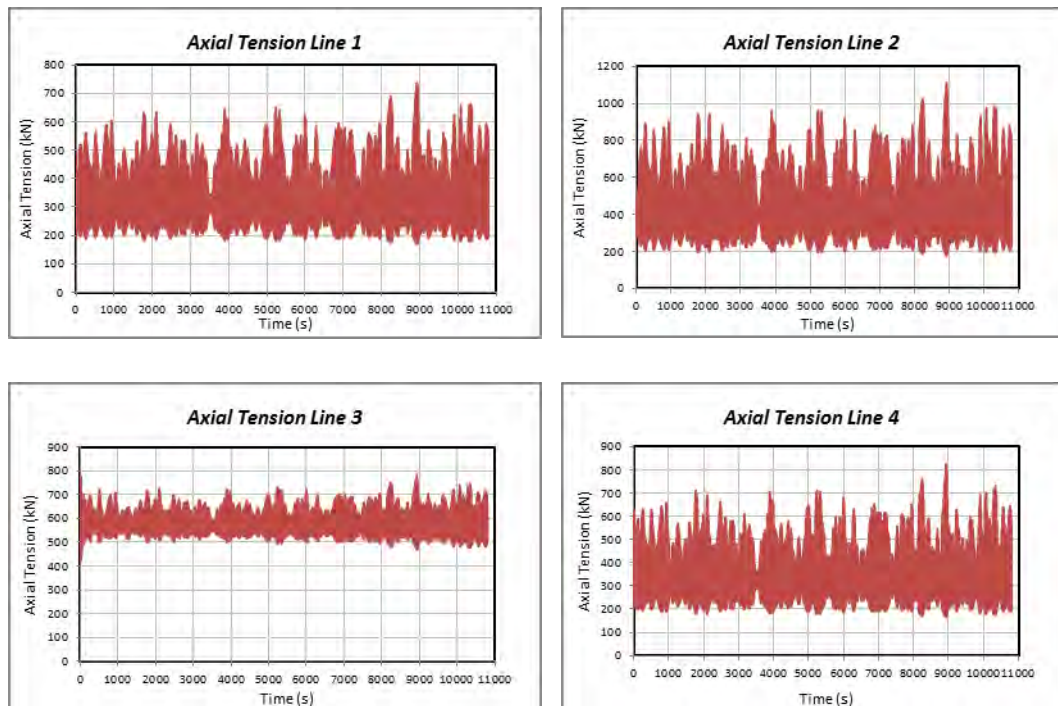
Motion

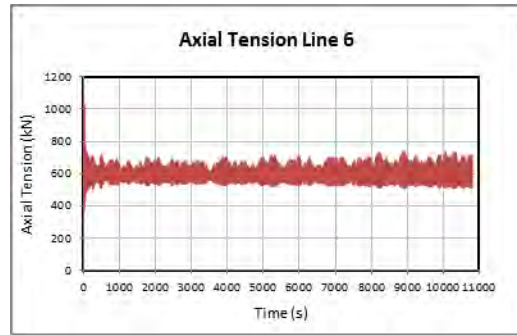
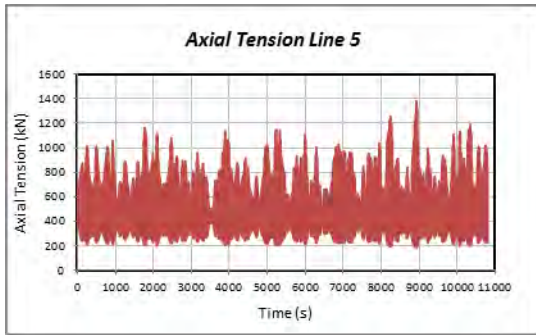




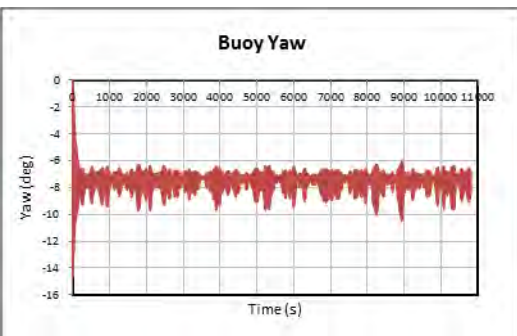
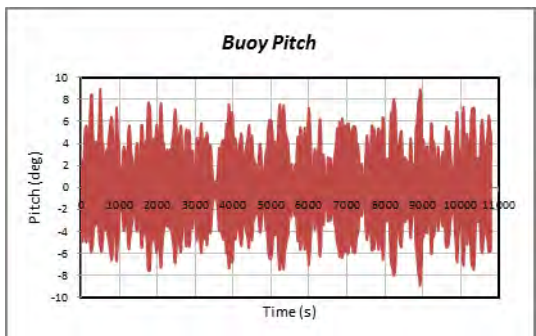
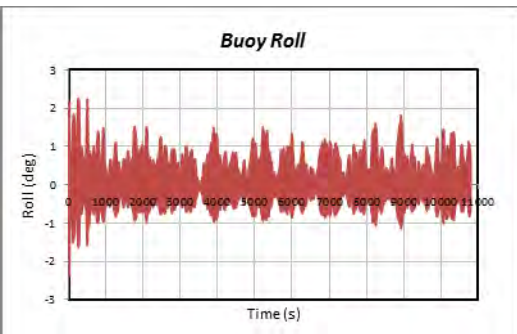
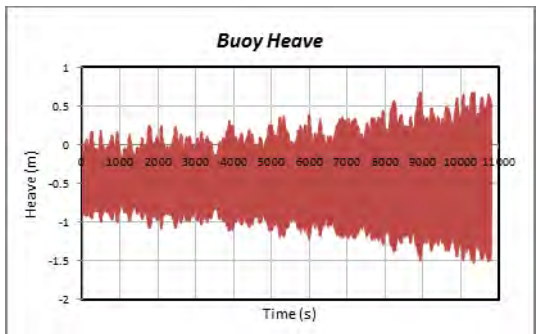
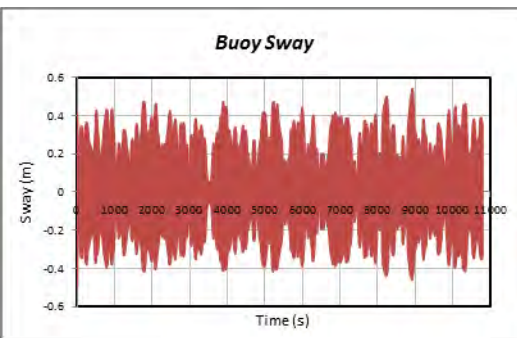
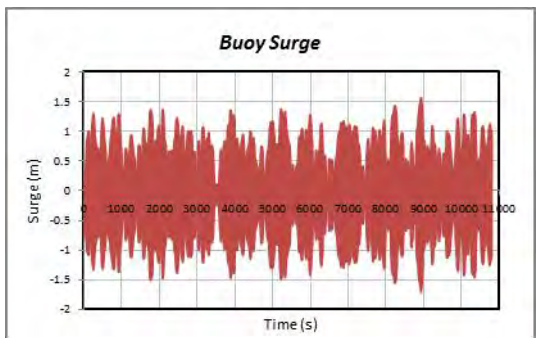
Tanker 100.000 DWT – H_s 1.25 m

Tension



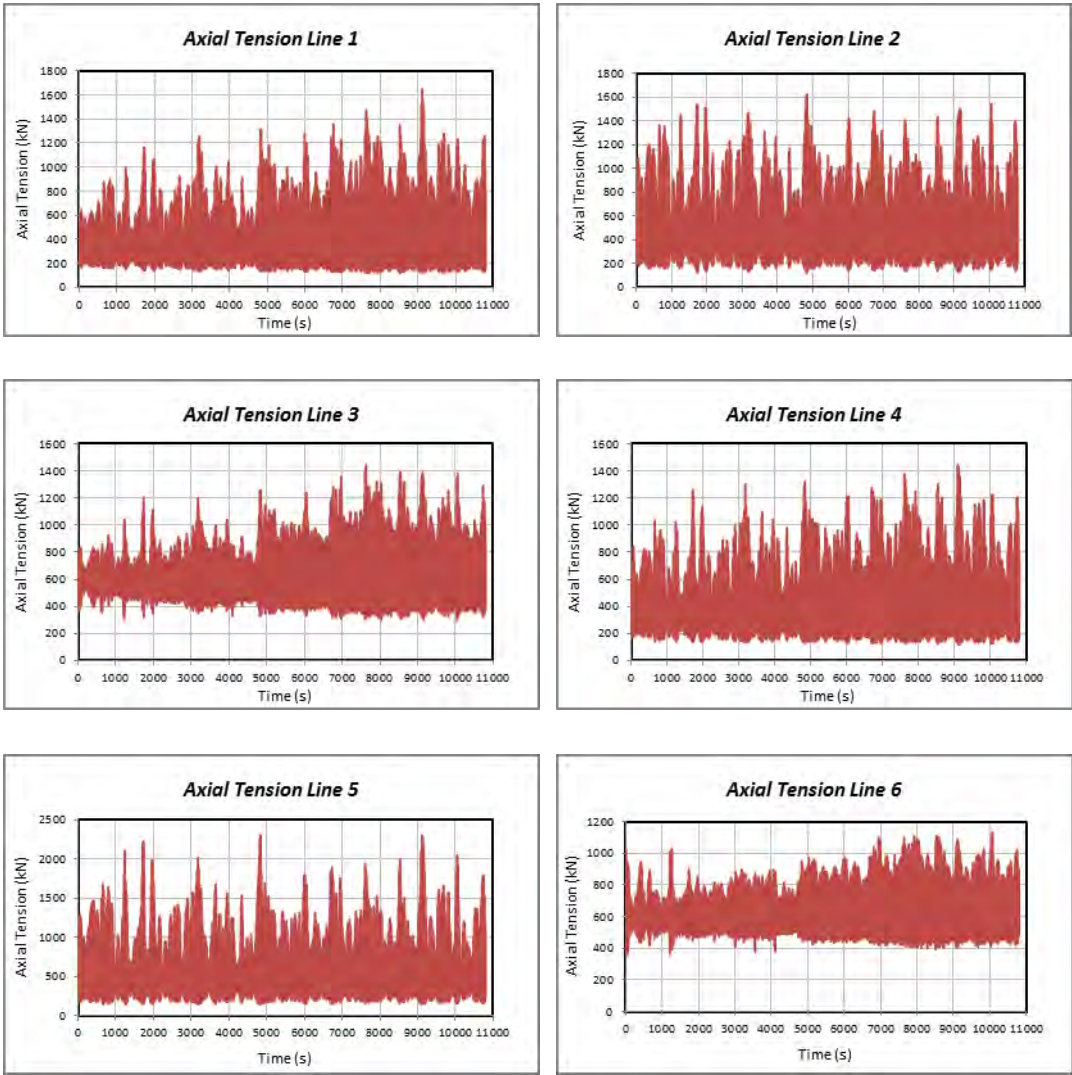


Motion

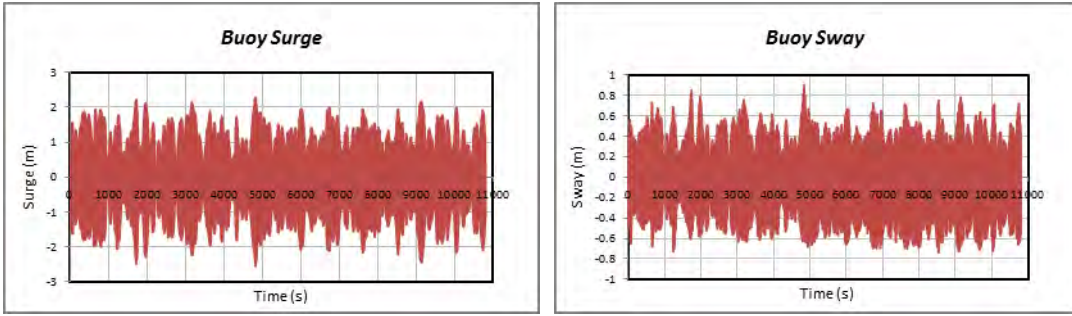


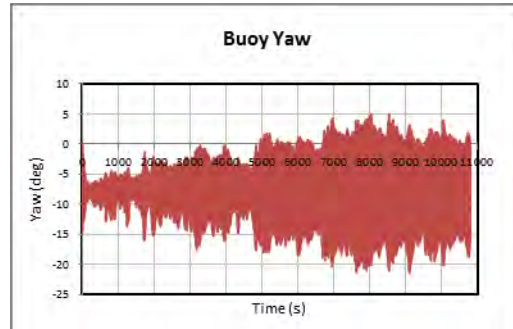
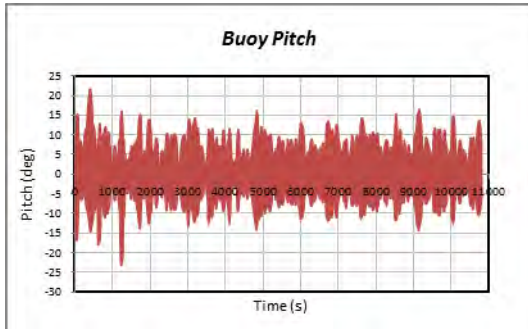
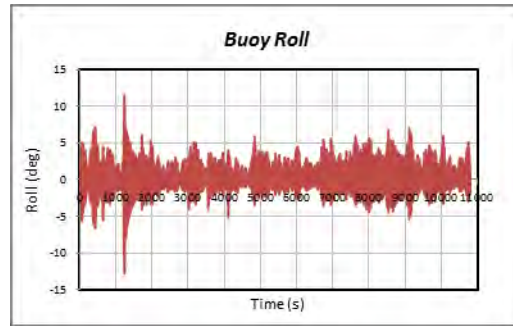
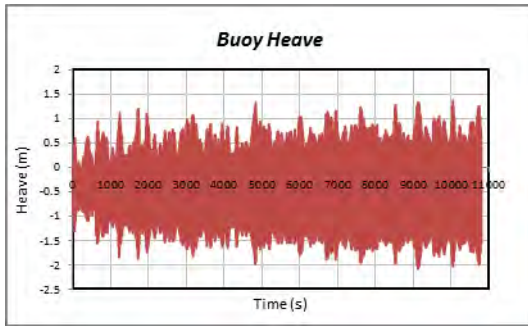
Tanker 100.000 DWT – H_s 2.5 m

Tension



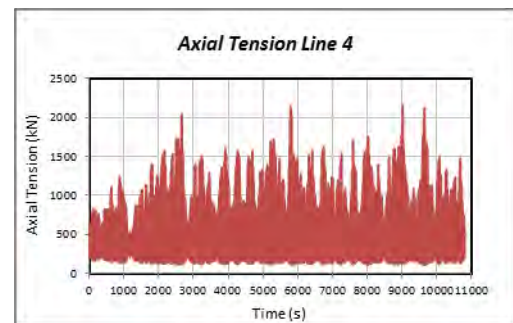
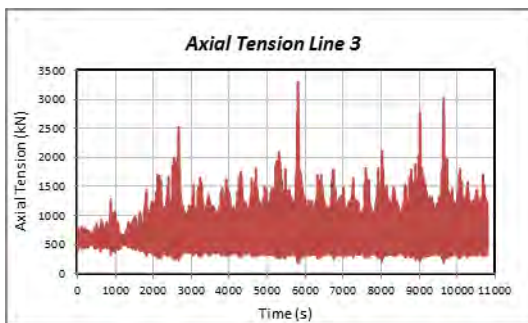
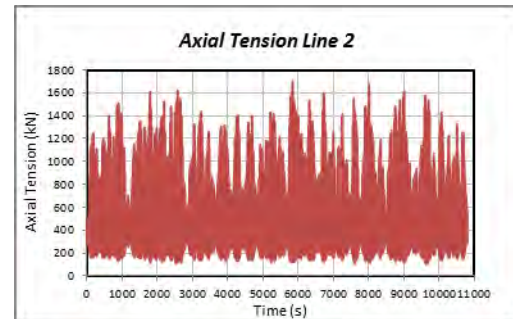
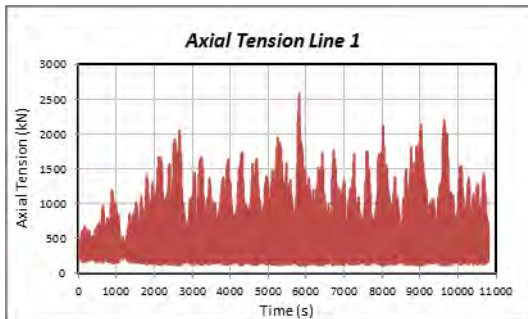
Motion

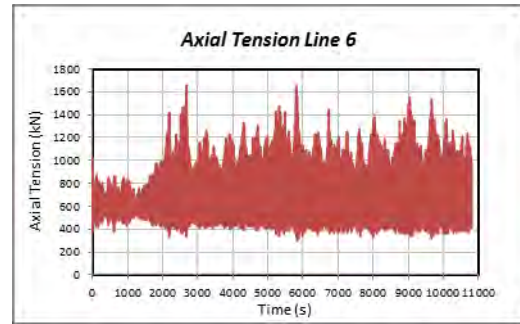
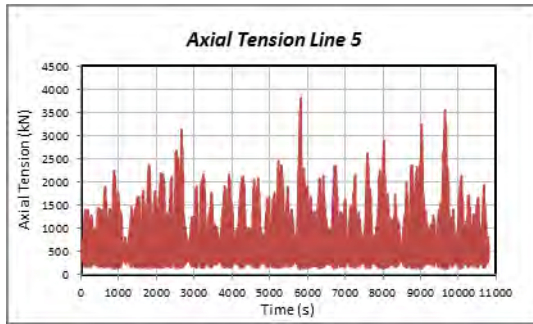




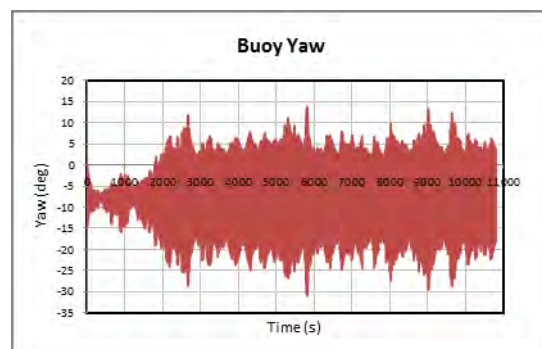
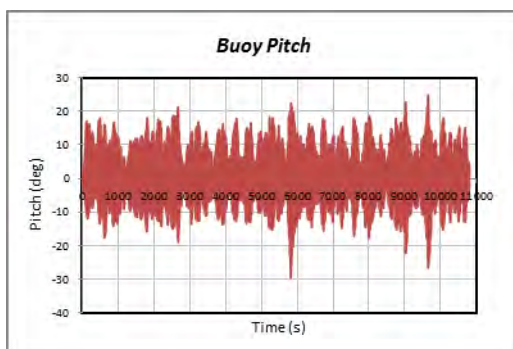
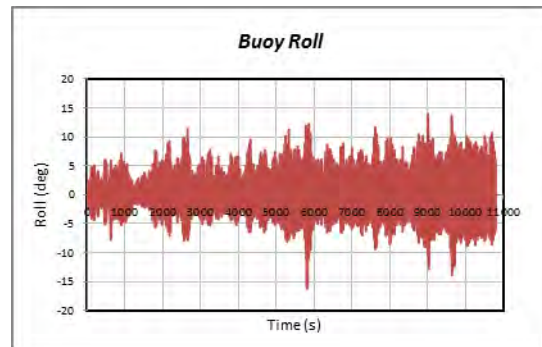
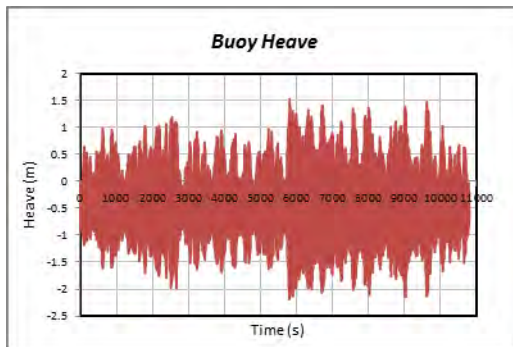
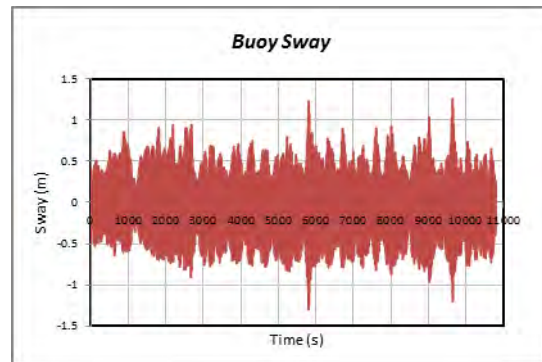
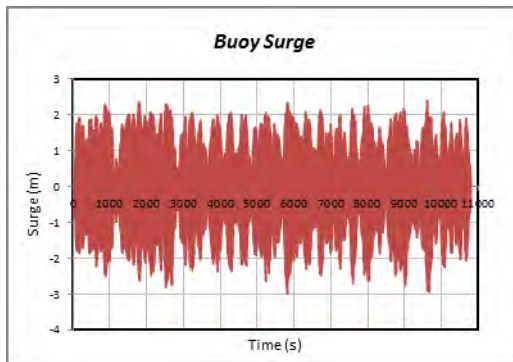
Tanker 100.000 DWT – H_s 3.5 m

Tension



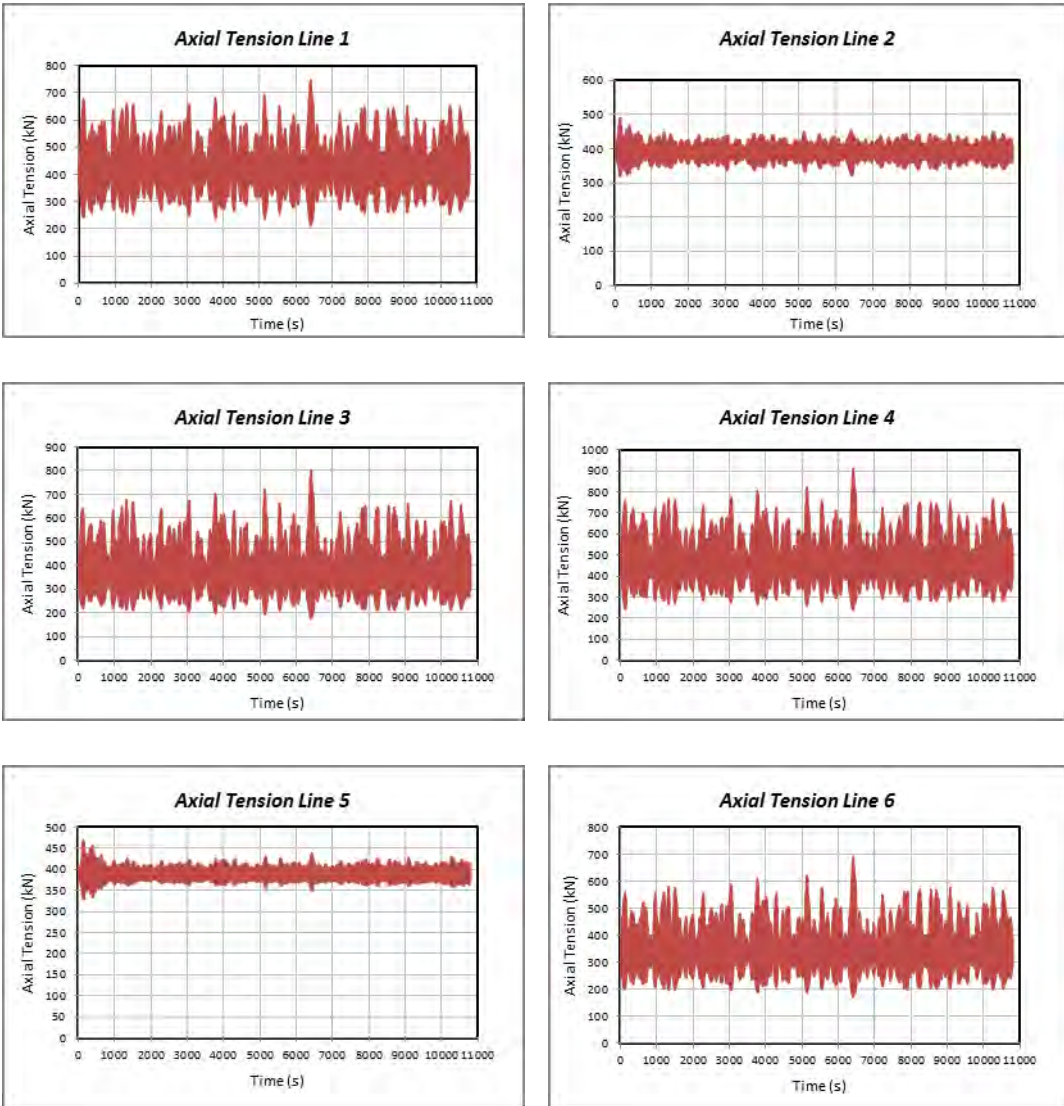


Motion

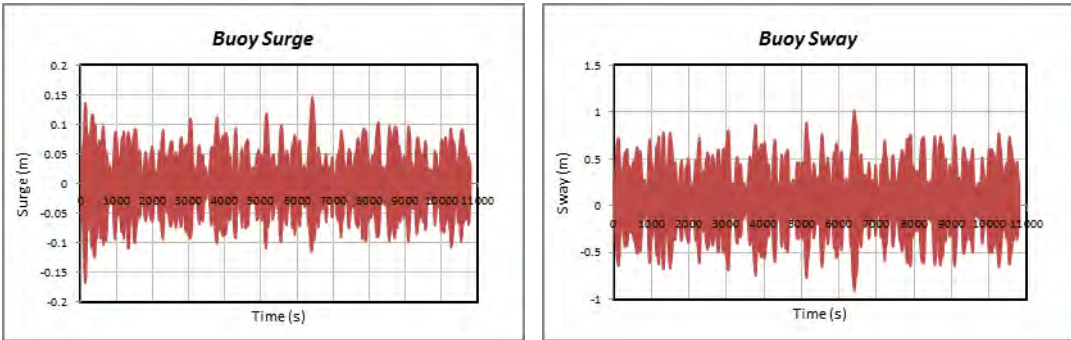


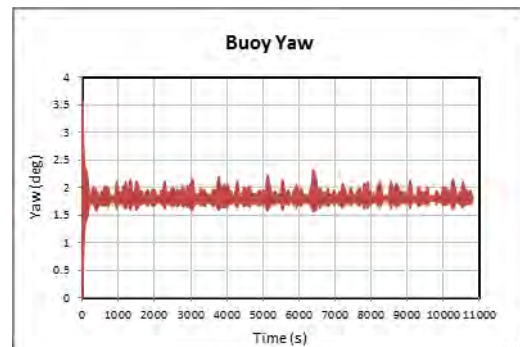
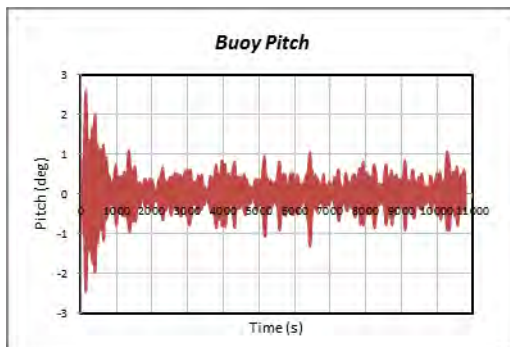
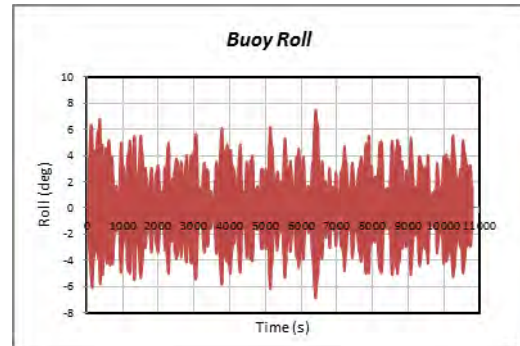
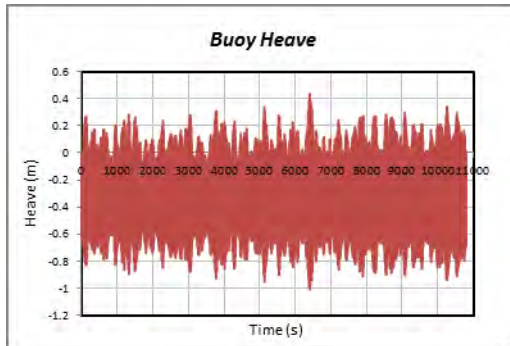
Tanker 35.000 DWT – H_s 1.25 m

Tension



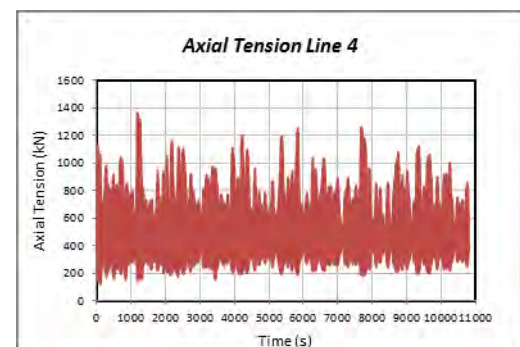
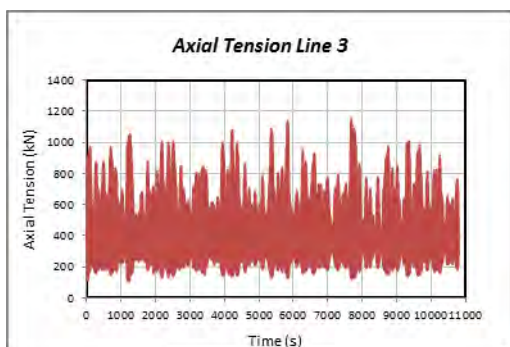
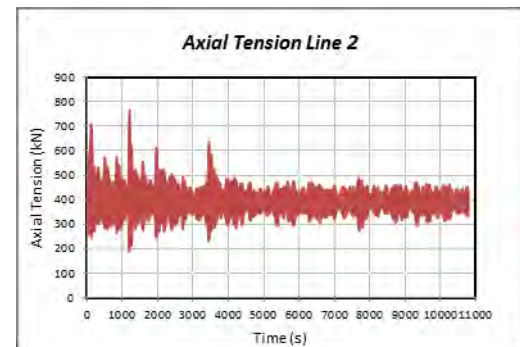
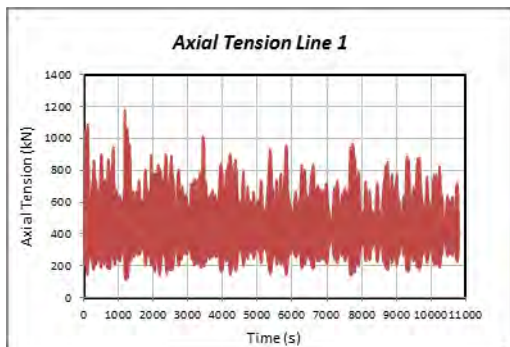
Motion

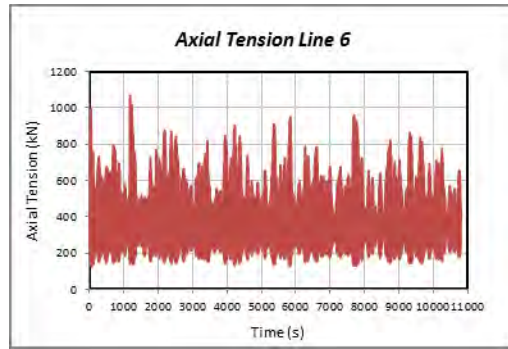
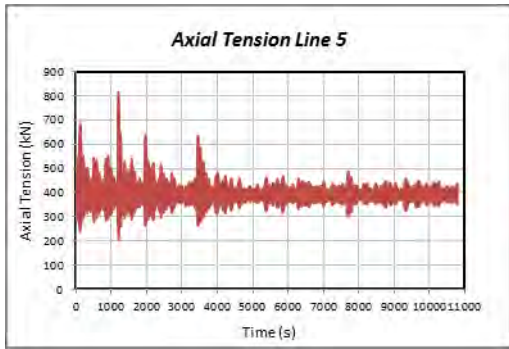




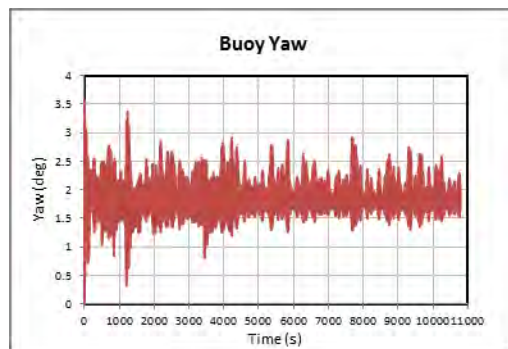
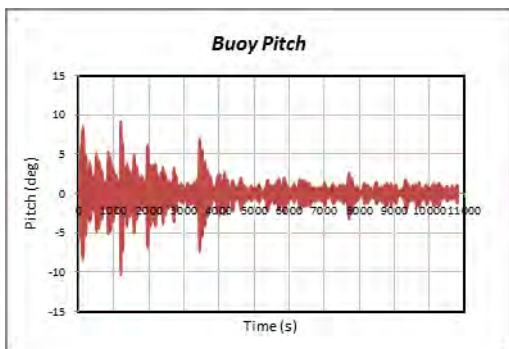
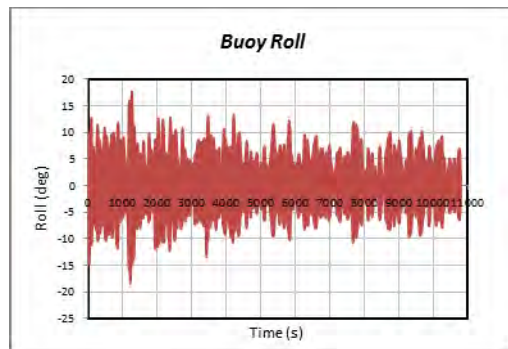
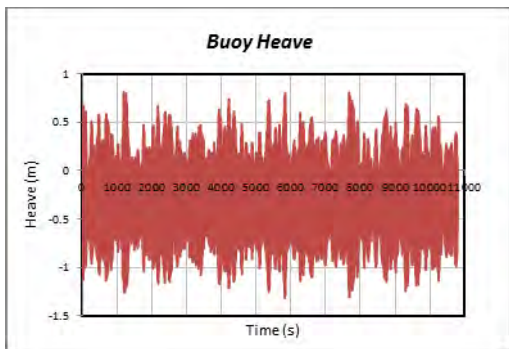
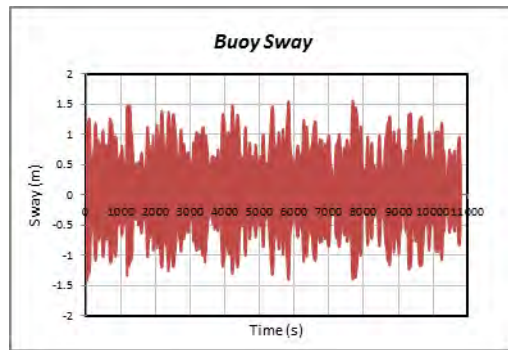
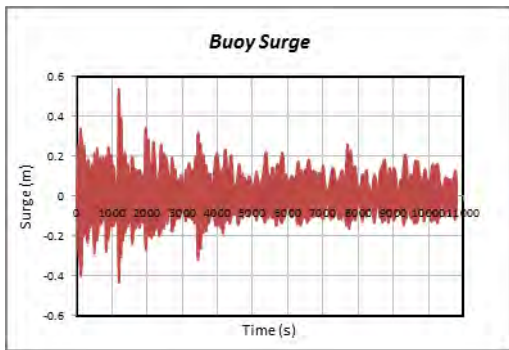
Tanker 35.000 DWT – H_s 2.5 m

Tension



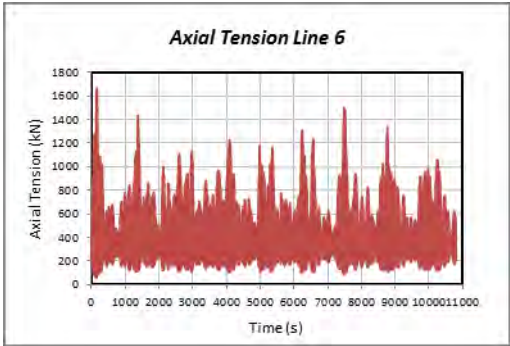
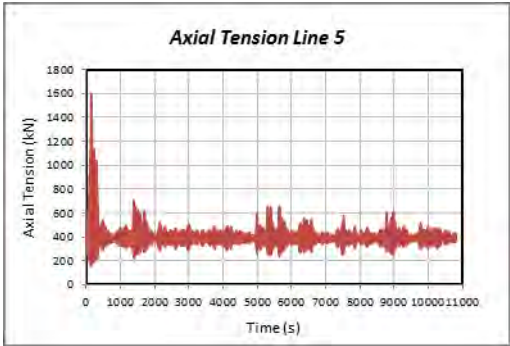
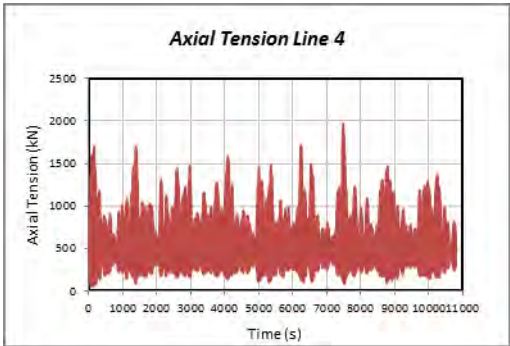
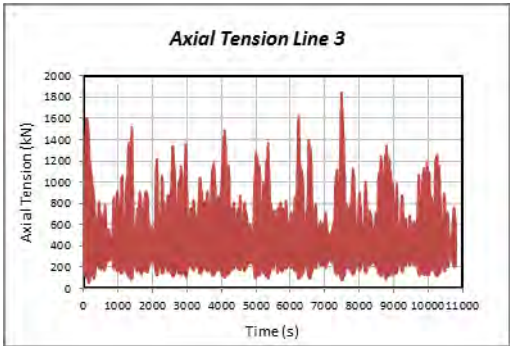
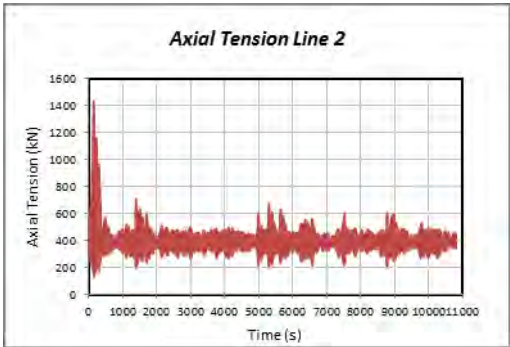
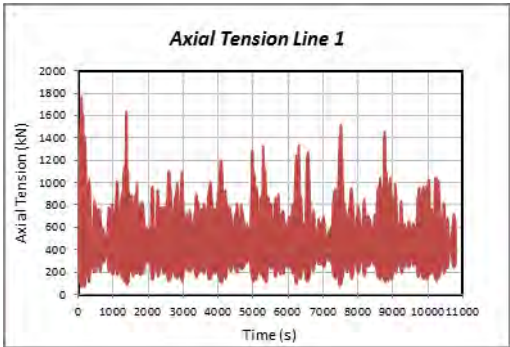


Motion

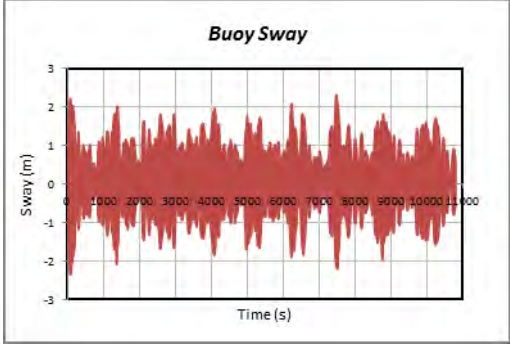
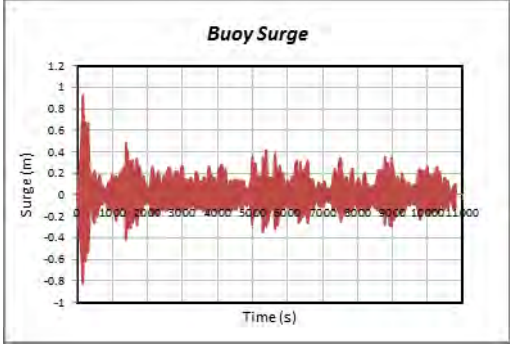


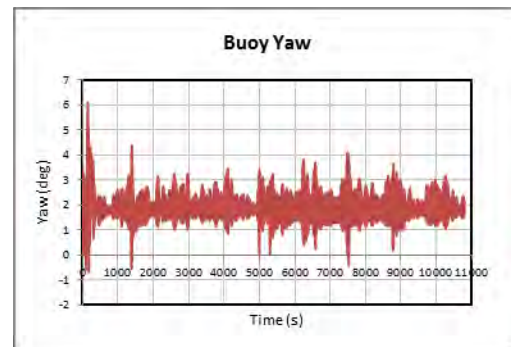
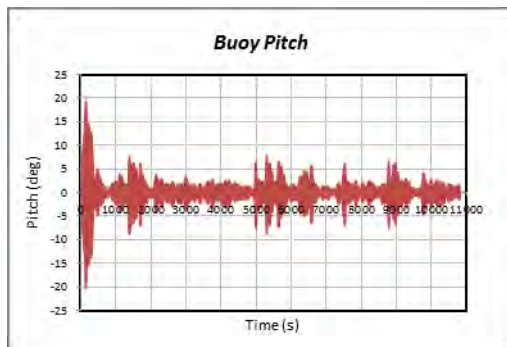
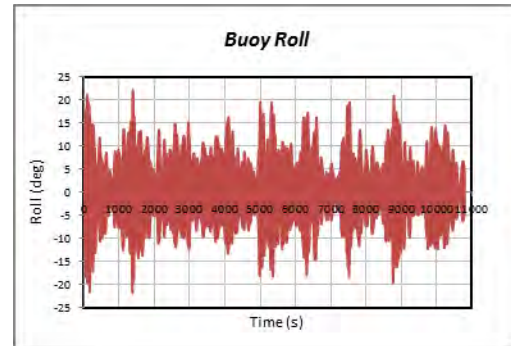
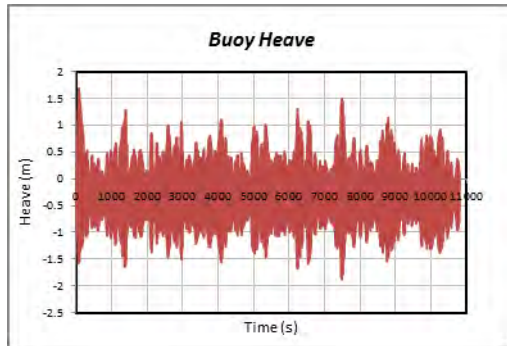
Tanker 35.000 DWT – H_s 3.5 m

Tension



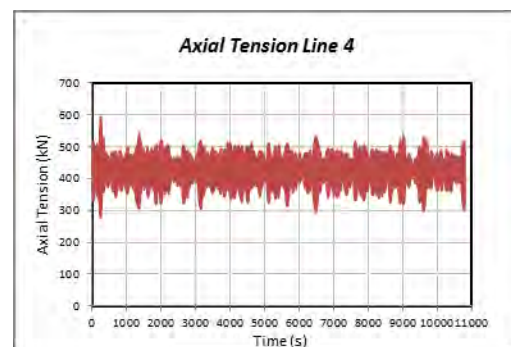
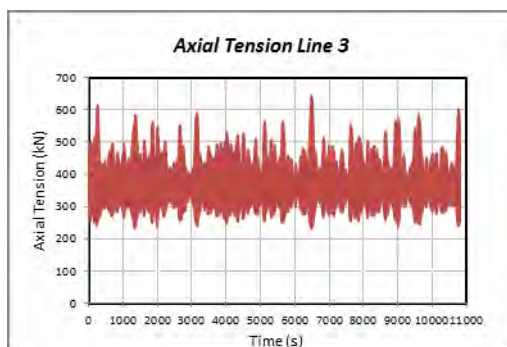
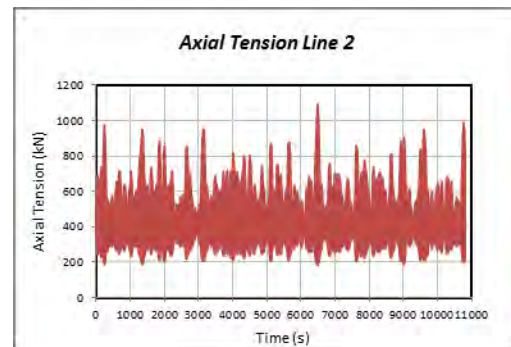
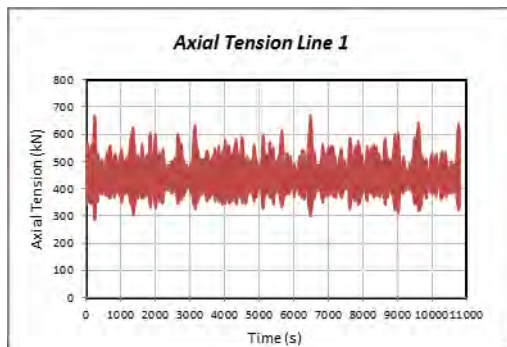
Motion

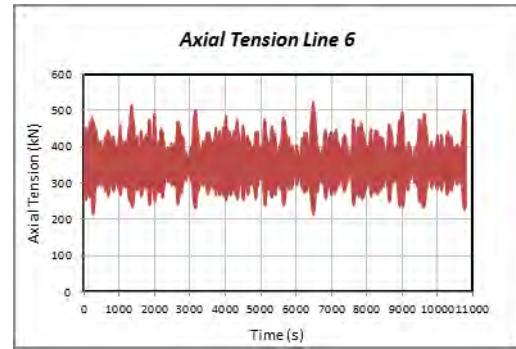
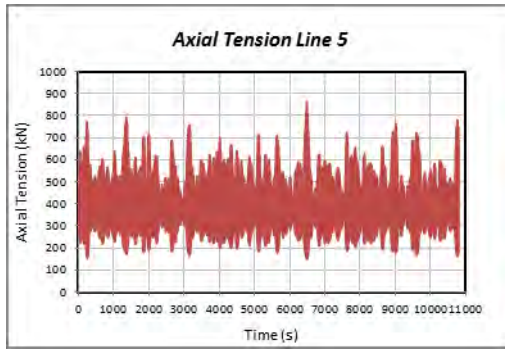




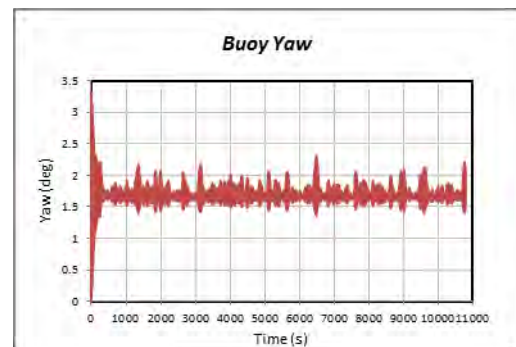
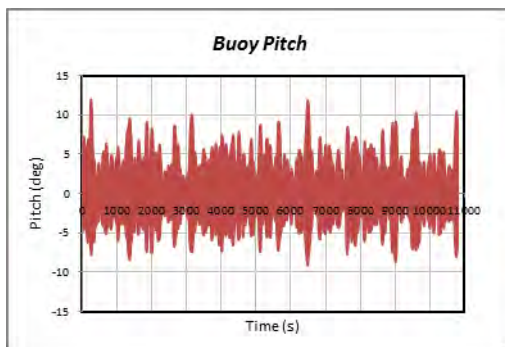
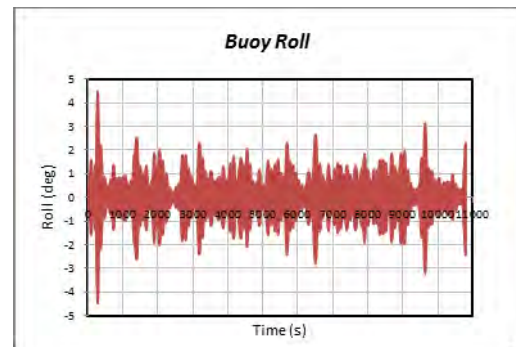
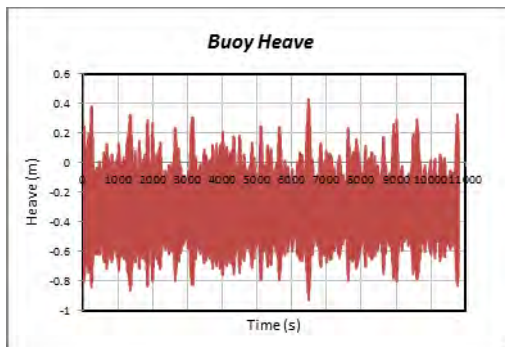
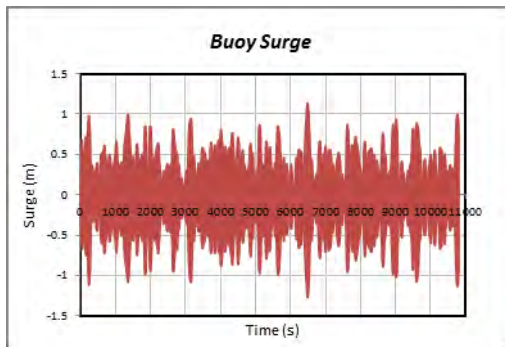
Tanker 17.500 DWT – H_s 1.25 m

Tension



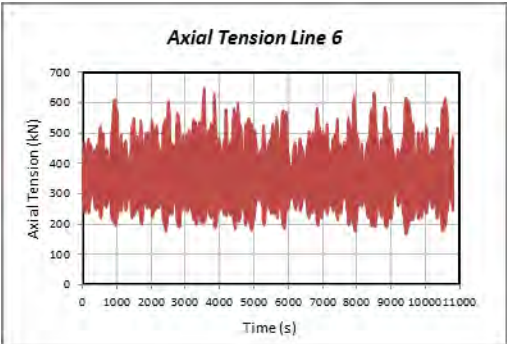
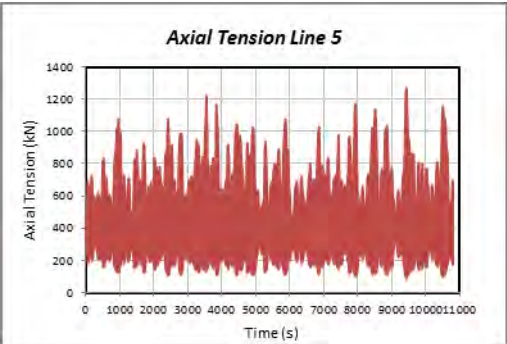
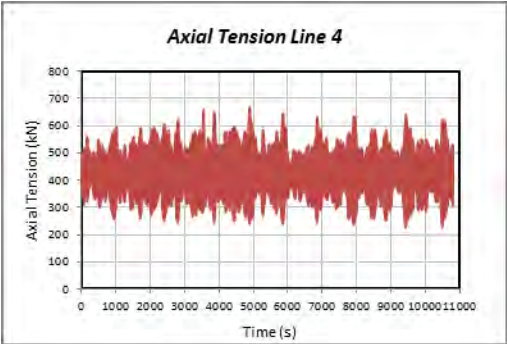
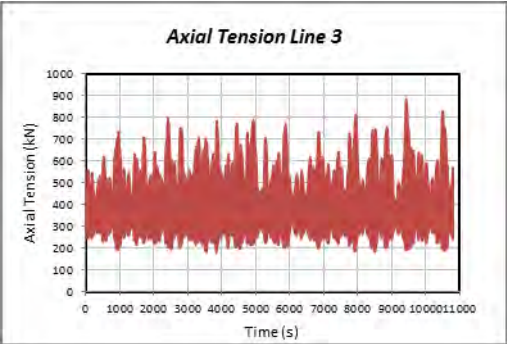
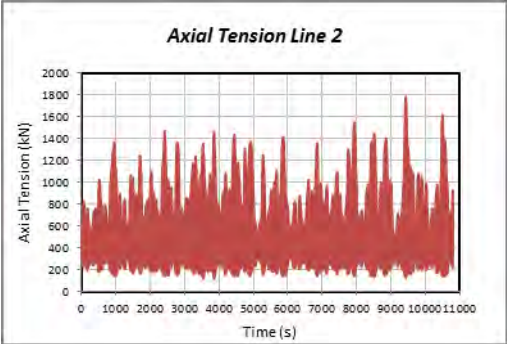
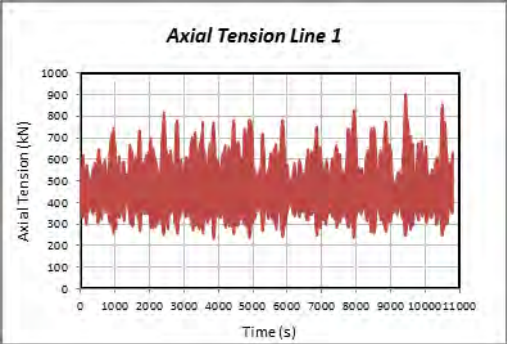


Motion

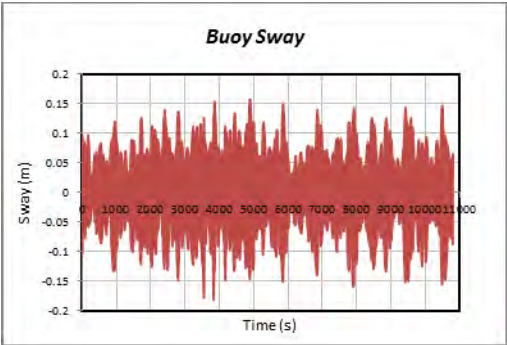
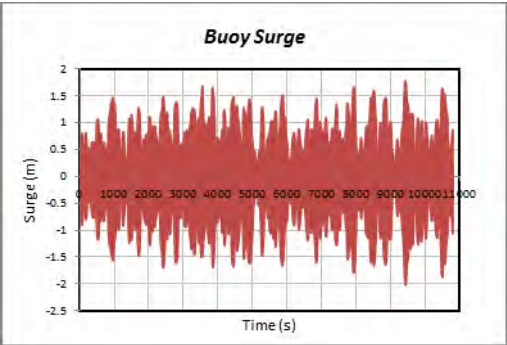


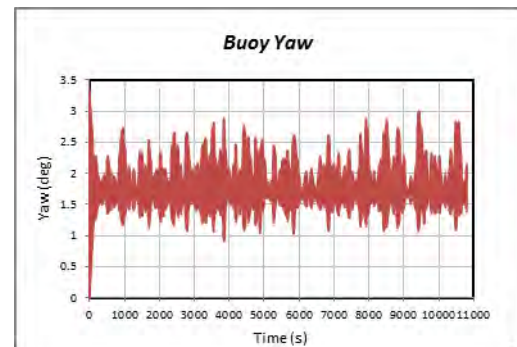
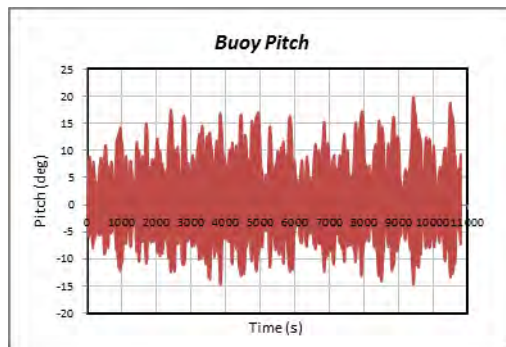
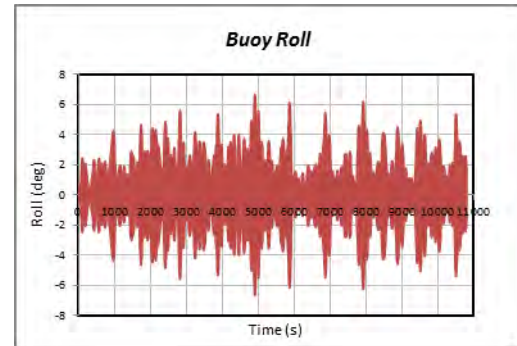
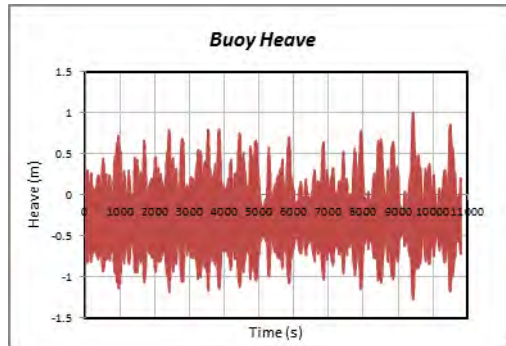
Tanker 17.500 DWT – H_s 2.5 m

Tension



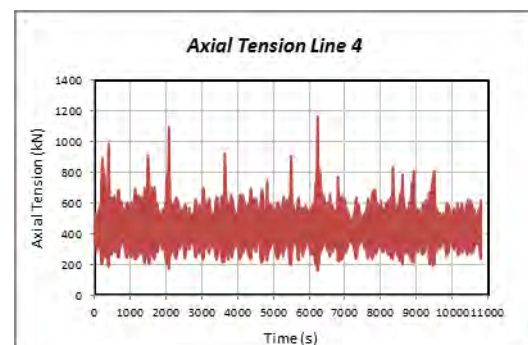
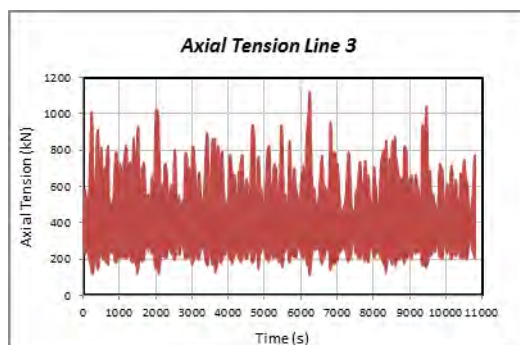
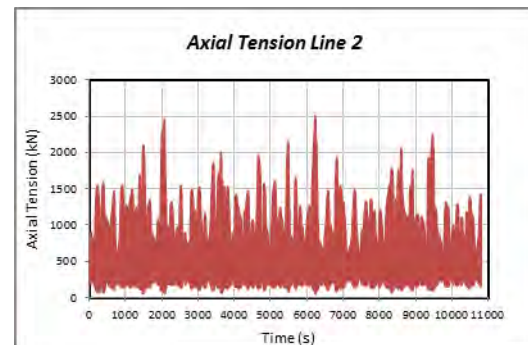
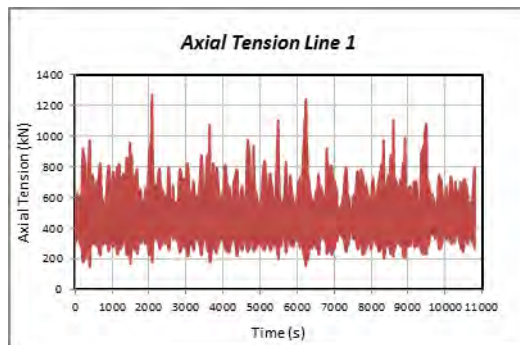
Motion

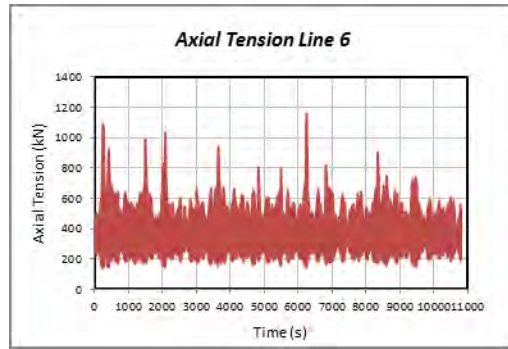
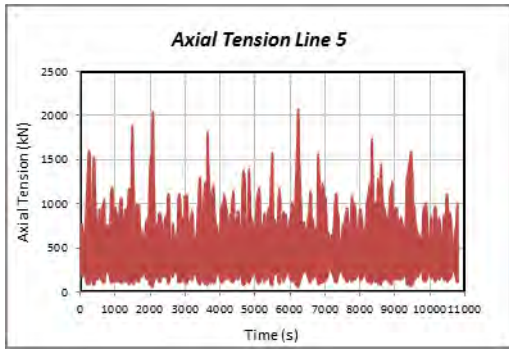




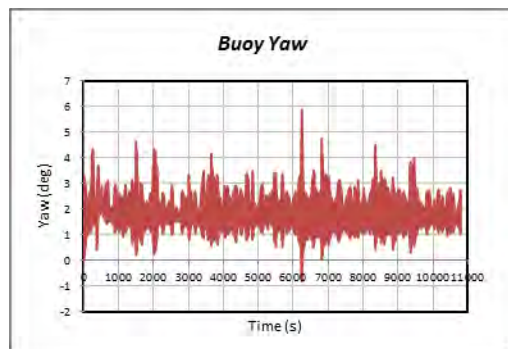
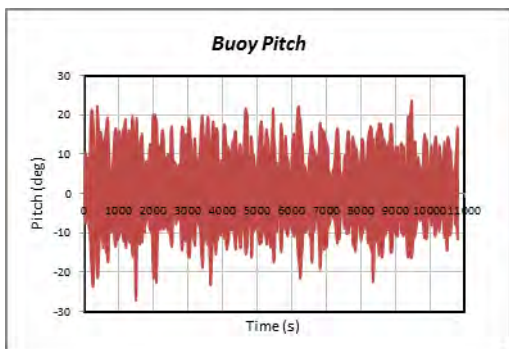
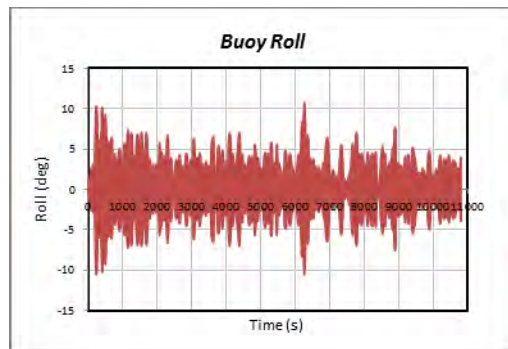
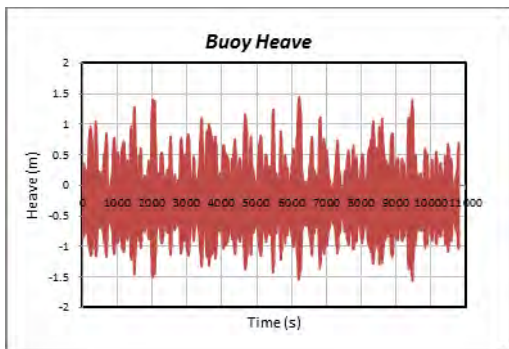
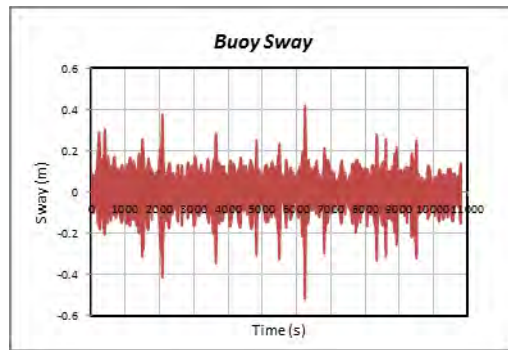
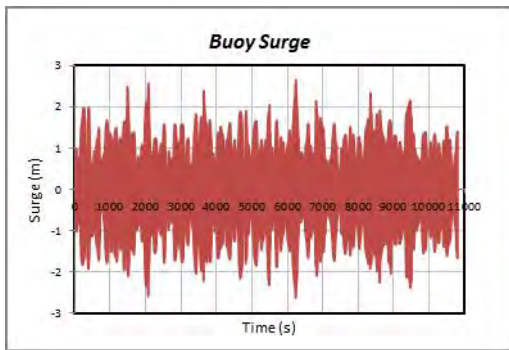
Tanker 17.500 DWT – H_s 3.5 m

Tension





Motion



LAMPIRAN B-5
HASIL SIMULASI *TIME DOMAIN*
VARIASI H_s - *TENSION*

| No. | Tanker | Kondisi | Hs (m) | Allowable Tension with SF 1.67 (kN) | Tension (kN) | | | | | | | | | | | |
|-----|----------------|-----------------------------------|--------|--|--------------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|---------|-------------|
| | | | | | Line 1 | | Line 2 | | Line 3 | | Line 4 | | Line 5 | | Line 6 | |
| | | | | | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant |
| 1 | 150.000 DWT | Inline - 10% Cargo | 1.25 | 2937.96 | 427.00 | 492.53 | 602.65 | 711.24 | 618.58 | 646.20 | 461.90 | 537.07 | 699.38 | 835.51 | 638.24 | 663.98 |
| 2 | | | 2.50 | 2937.96 | 539.12 | 658.52 | 775.29 | 959.70 | 737.57 | 823.68 | 577.56 | 708.97 | 941.47 | 1187.21 | 716.70 | 777.92 |
| 3 | | | 3.50 | 2937.96 | 651.48 | 822.22 | 849.66 | 1062.18 | 923.47 | 1097.59 | 668.50 | 840.05 | 1113.10 | 1431.56 | 830.24 | 941.06 |
| 1 | 100.000 DWT | Inline - 10% Cargo | 1.25 | 2937.96 | 625.94 | 725.08 | 609.33 | 718.10 | 623.09 | 650.87 | 459.87 | 534.27 | 688.86 | 821.11 | 640.11 | 666.92 |
| 2 | | | 2.50 | 2937.96 | 554.96 | 679.80 | 762.34 | 938.75 | 794.40 | 906.75 | 577.75 | 707.95 | 908.57 | 1138.81 | 749.09 | 825.71 |
| 3 | | | 3.50 | 2937.96 | 682.03 | 864.58 | 832.63 | 1035.73 | 992.38 | 1195.18 | 677.55 | 851.12 | 1076.71 | 1377.43 | 874.59 | 1003.86 |
| 1 | 35.000 DWT | Between Line - 10% Cargo | 1.25 | 2448.30 | 520.66 | 578.27 | 413.85 | 427.82 | 482.57 | 547.14 | 579.10 | 649.24 | 403.08 | 411.64 | 431.54 | 485.23 |
| 2 | | | 2.50 | 2448.30 | 633.27 | 746.01 | 444.17 | 475.19 | 608.72 | 735.62 | 716.37 | 854.74 | 431.86 | 456.66 | 536.03 | 640.98 |
| 3 | | | 3.50 | 2448.30 | 724.20 | 879.14 | 476.28 | 524.75 | 714.86 | 891.89 | 828.37 | 1019.61 | 465.35 | 508.46 | 622.89 | 768.65 |
| 1 | 17.500 DWT | Inline - Full Cargo | 1.25 | 2448.30 | 502.89 | 540.07 | 574.84 | 668.81 | 434.27 | 477.98 | 474.71 | 502.51 | 523.28 | 601.09 | 409.09 | 444.06 |
| 2 | | | 2.50 | 2448.30 | 568.97 | 640.39 | 764.39 | 948.83 | 507.24 | 589.50 | 519.26 | 570.27 | 669.79 | 815.56 | 461.42 | 523.99 |
| 3 | | | 3.50 | 2448.30 | 625.94 | 725.08 | 929.55 | 1188.09 | 566.55 | 678.13 | 563.67 | 636.75 | 798.29 | 1000.69 | 508.85 | 595.39 |

LAMPIRAN B-6
HASIL SIMULASI *TIME DOMAIN*
VARIASI H_s - *MOTION*

| No. | Tanker | Hs (m) | Motion | | | | | | | | | | | | | | |
|-----|----------------|-----------|-----------|-------------|----------|-------------|-----------|-------------|------------------------|------------|-------------|------------------------|-------------|-------------|------------------------|-----------|-------------|
| | | | Surge (m) | | Sway (m) | | Heave (m) | | | Roll (deg) | | | Pitch (deg) | | | Yaw (deg) | |
| | | | Average | Significant | Average | Significant | Average | Significant | Not Operable (%) | Average | Significant | Not Operable (%) | Average | Significant | Not Operable (%) | Average | Significant |
| 1 | 150.000 DWT | 1.25 | 0.754 | 1.207 | 0.249 | 0.398 | 0.422 | 0.675 | 0.000 | 0.527 | 0.844 | 0.000 | 3.825 | 6.119 | 0.000 | 0.710 | 1.136 |
| | | 2.50 | 1.184 | 1.894 | 0.370 | 0.592 | 0.623 | 0.997 | 0.002 | 1.741 | 2.786 | 0.000 | 6.935 | 11.096 | 0.198 | 4.069 | 6.511 |
| | | 3.50 | 1.352 | 2.164 | 0.413 | 0.661 | 0.605 | 0.969 | 0.009 | 2.618 | 4.189 | 0.000 | 8.691 | 13.905 | 0.183 | 7.773 | 12.437 |
| 2 | 100.000 DWT | 1.25 | 0.750 | 1.200 | 0.247 | 0.396 | 0.441 | 0.705 | 0.000 | 0.526 | 0.841 | 0.000 | 3.798 | 6.077 | 0.000 | 0.733 | 1.173 |
| | | 2.50 | 1.112 | 1.780 | 0.348 | 0.557 | 0.713 | 1.140 | 0.000 | 1.753 | 2.805 | 0.000 | 6.688 | 10.701 | 0.064 | 5.681 | 9.089 |
| | | 3.50 | 1.261 | 2.017 | 0.388 | 0.621 | 0.645 | 1.031 | 0.008 | 3.539 | 5.663 | 0.000 | 8.477 | 13.563 | 0.178 | 9.183 | 14.693 |
| 3 | 35.000 DWT | 1.25 | 0.050 | 0.079 | 0.360 | 0.576 | 0.268 | 0.429 | 0.000 | 2.701 | 4.322 | 0.000 | 0.402 | 0.644 | 0.000 | 0.112 | 0.180 |
| | | 2.50 | 0.050 | 0.079 | 0.673 | 1.077 | 0.402 | 0.644 | 0.000 | 5.338 | 8.540 | 0.000 | 1.564 | 2.503 | 0.000 | 0.295 | 0.473 |
| | | 3.50 | 0.134 | 0.215 | 0.887 | 1.420 | 0.536 | 0.857 | 0.000 | 7.057 | 11.291 | 0.040 | 2.494 | 3.991 | 0.001 | 0.522 | 0.835 |
| 4 | 17.500 DWT | 1.25 | 0.452 | 0.723 | 0.031 | 0.049 | 0.218 | 0.348 | 0.000 | 0.910 | 1.456 | 0.000 | 3.945 | 6.312 | 0.000 | 0.147 | 0.235 |
| | | 2.50 | 0.809 | 1.294 | 0.058 | 0.094 | 0.383 | 0.613 | 0.000 | 2.130 | 3.408 | 0.000 | 7.254 | 11.606 | 0.000 | 0.313 | 0.501 |
| | | 3.50 | 1.056 | 1.689 | 0.088 | 0.141 | 0.527 | 0.843 | 0.000 | 3.166 | 5.066 | 0.000 | 9.520 | 15.232 | 0.431 | 0.597 | 0.956 |

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari pembahasan yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan yang juga akan menjawab permasalahan yang dibahas dalam penelitian tugas akhir ini, diantaranya:

1. Setelah dilakukan simulasi pada *common spare CALM buoy* yang memiliki dimensi berbeda dengan *buoy* desain awal, dimana perbedaan untuk ukuran diameter adalah sebesar 26.67% dan tinggi sebesar 10.44% dapat disimpulkan bahwa tidak terjadi *tension* yang melebihi batas izin dengan *safety factor* API RP 2SK 3rd *edition* untuk kondisi *intact* dinamis yaitu sebesar 1.67. Maka dari itu dapat ditarik kesimpulan bahwa pada kasus *common spare CALM buoy* ini dimensi *buoy* yang berbeda tidak terlalu berpengaruh terhadap kekuatan *mooring line*.
2. Berdasarkan hasil simulasi yang telah dilakukan, dapat terlihat bahwa dengan ukuran kapasitas tanker yang berbeda memberikan respon gerak *buoy* yang berbeda pula, antara lain:
 - a. *Significant heave*: Pada moda gerakan ini, tanker 100.000 DWT menghasilkan respon yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanker 150.000 DWT. Dimana nilai-nilai signifikan pada H_s 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 100.000 DWT adalah 0.705 m, 1.140 m, dan 1.031 m. Sementara untuk tanker 150.000 DWT adalah 0.675 m, 0.997 m, dan 0.969 m. Selanjutnya tanker 35.000 DWT menghasilkan respon yang lebih besar dibandingkan tanker 17.500 DWT. Dimana nilai-nilai signifikan pada H_s 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 35.000 DWT adalah 0.429 m, 0.644 m, dan 0.857 m. Sementara untuk tanker 17.500 DWT adalah 0.348 m, 0.613 m, dan 0.843 m.
 - b. *Significant roll*: Sama dengan moda gerak sebelumnya, pada moda gerak ini tanker 100.000 DWT menghasilkan respon yang sedikit lebih besar daripada tanker 150.000 DWT. Kedua tanker 150.000 DWT maupun 100.000 DWT berada pada posisi *inline*. Dimana nilai-nilai signifikan pada H_s 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 100.000 DWT adalah 0.841° , 2.805° , dan 5.663° . Sementara untuk tanker 150.000 DWT adalah 0.844° , 2.786° , dan 4.189° . Di lain pihak,

tanker 35.000 DWT menghasilkan respon yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanker 17.500 DWT. Perlu diingat kembali bahwa kasus tanker 35.000 yang dijadikan acuan operabilitas berada posisi *between line* sementara tanker 17.500 berada pada posisi *inline*. Dimana nilai-nilai signifikan pada H_s 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 35.000 DWT adalah 1.456° , 3.408° , dan 5.066° . Kemudian untuk tanker 17.500 DWT adalah 1.456° , 3.408° , dan 15.232° .

- c. *Significant pitch*: Berbeda dengan kedua moda gerak sebelumnya, pada moda gerak ini tanker 150.00 DWT menghasilkan respon yang sedikit lebih besar dibandingkan tanker 100.000 DWT, perlu diingat keduanya berada pada posisi *inline*. Dimana nilai-nilai signifikan pada H_s 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 150.000 DWT adalah 6.119° , 11.096° , dan 13.905° . Dan untuk tanker 100.000 DWT adalah 6.077° , 10.701° , dan 13.563° . Perbedaan juga terjadi pada tanker 17.500 DWT yang menghasilkan respon gerak yang jauh lebih besar dibandingkan tanker 35.000 DWT – tanker 17.500 DWT berada pada posisi *inline* dan 35.000 DWT berada pada posisi *between line*. Dimana nilai-nilai signifikan pada H_s 1.25 m, 2.5 m, dan 3.5 m untuk tanker 17.500 DWT adalah 6.312° , 11.606° , dan 15.232° . Dan untuk tanker 35.000 DWT adalah 0.644° , 2.503° , dan 3.991° .

Meski pada kondisi *single motion* semua sistem dianggap *operable*, namun perlu dilakukan analisis lebih lanjut pada *coupling motion* untuk menentukan tingkat operabilitasnya.

3. Berdasarkan hasil simulasi dan perhitungan yang telah dilakukan pada seluruh kasus yang ditinjau *tension* pada seluruh *mooring line* di semua variasi H_s telah memenuhi kriteria *safety factor*. Namun lain halnya dengan *motion* yang terjadi pada buoy. Walaupun bila dilihat secara *single motion* seluruh sistem dapat beroperasi dengan baik hingga H_s 3.5 m, setelah dilakukan analisis lebih lanjut ternyata ada beberapa kasus yang dinyatakan *not operable*. Pada tanker 150.000 DWT dan 100.000 DWT, sistem tidak dapat beroperasi lagi pada H_s 2.5 m. Sementara pada tanker 35.000 dan 17.500 sistem tidak dapat beroperasi lagi pada H_s 3.5 m Faktor-faktor tersebut kemudian dijadikan acuan untuk menganalisis nilai operabilitas masing-masing sistem dengan variasi tanker yang berbeda, nilai operabilitas yang didapatkan antara lain:

- a. Tanker 150.000 DWT: Operabilitas 99.893% dan *downtime* 0.107%

- b. Tanker 100.000 DWT: Operabilitas 99.893% dan *downtime* 0.107%
- c. Tanker 35.000 DWT: Operabilitas 99.996% dan *downtime* 0.004%
- d. Tanker 17.500 DWT: Operabilitas 99.996% dan *downtime* 0.004%

5.2. Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian lebih lanjut mengenai tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Dilakukan pemodelan terhadap *subsea hose* untuk melihat pengaruhnya terhadap nilai operabilitas.
2. Dilakukan analisis operabilitas terkait pergerakan tanker, *tension hawser* maupun *scheduling* operasi yang dilakukan SPM CALM buoy.
3. Dilakukan analisis lebih lanjut terhadap lokasi lain yang sekiranya berpotensi untuk digunakan *common spare* CALM buoy oleh PT Pertamina (persero) sebagai solusi krisis ekonomi.
4. Dilakukan analisis lebih lanjut terhadap kapasitas tambat maksimum dari *common spare* CALM buoy serta pengaruh kedalaman perairan lokasi operasi.
5. Dilakukan analisis gerakan *coupling* untuk *heave*, *pitch* ,dan *roll* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap nilai operabilitas.

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- ABS MODU (2012) *ABS For Building and Classing Mobile Offshore Drilling Units and The 2012 IMO MODU CODE*, American Bureau of Shipping, United States.
- API RP 2SK 3rd edition (2005) *Recommended Practice for Design and Analysis of Station Keeping Systems for Floating Structures*, American Petroleum Institute, USA.
- Bhattacharyya, R. (1978) *Dynamics of Marine Vehicles*, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Botas International Limited (2007), Tanker operating on jetty, (Online), ([http://www.botasint.com/Foto/Original/65__BIL_Jetty%2028.02.07%20\(110\).JPG](http://www.botasint.com/Foto/Original/65__BIL_Jetty%2028.02.07%20(110).JPG) diakses 20 Juni 2016)
- BV (2014), *Ariane7 User Manual*, Bureau Veritas, Paris.
- BV (2015), *HydroStar v7.25 for Experts User Manual*, Bureau Veritas, Paris.
- Chakrabarti, S.K. (1987) *Hydrodynamics of Offshore Structures*, Computational Mechanics Publications Southampton, Springer-Verlag, Berlin.
- Destidazeh, L. (2014) “*Estimation of the Long-term Extreme Response of Drilling Riser by the Contour Line Method*”, Master Thesis, Department of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Dewi, Rahayu Istika. 2011 “*Analisa Perilaku Single Point Mooring Buoy (SPM) #6 Akibat Perubahan Konfigurasi Tali Tambat dan Daerah Operasi dari Perairan Laut Jawa ke Perairan Pangkalan Susu Milik PT. Pertamina EP Region Sumatera*”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, Indonesia.
- Djarmiko, E.B. dan Murdijanto (2003) *Seakeeping: Perilaku Bangunan Apung di Atas Gelombang*, ITS Press. Surabaya.
- Djarmiko, E.B. (2012) *Perilaku dan Operabilitas Bangunan Laut Di Atas Gelombang Acak*, ITS Press. Surabaya.
- DNV OS E301 (2004) *Position Mooring*, Det Norske Veritas, Norway.

- DNV RP C205 (2010) *Environmental Conditions and Environmental Loads*, Det Norske Veritas, Norway.
- Ebbesen C. (2013) “*Analysis of Motions and Anchor Line Forces For Floating Production Units*”, Master Thesis, Department of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Faltinsen, O.M. (1990) *Sea Loads On Ships And Offshore Structures*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hi-Sea Marine (2010), Two legs chain sling, (Online), (www.hiseamarine.com/photos/Two-legs-chain-sling.jpg diakses pada 15 Maret 2016)
- IKPT (2008) *Metocean Report Hydrographic Survey For TTU Tuban & Pipanisasi Jawa Timur Project*. Jakarta.
- Journée, J.M.J. and Massie, W.W. (2001), *Offshore Hydromechanics*, Delft University of Technology
- Kim, B dan Bernitsas, M. (2001), “Nonlinear Dynamics and Stability of Spread Mooring with Riser”, *Applied ocean research*, Vol.23 (2001) 111-123, USA.
- Kristensen, H.O.H. dan Lutzen M. (2012) “Existing Design Trends for Tankers and Bulk Carriers – Design Changes for Improvement of the EEDI in the Future”. *Proceeding of International Marine Design Conference*. United Kingdom.
- Li, et al. (2006), “Research on Motion of Soft Yoke Mooring FPSO System”, *Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference*, USA.
- Lloyd’s Register Rulefinder ver. 9.11.
- Mahdarreza, Augene (2010) “Analisis Perilaku *Floating LNG* pada Variasi *Metocean* Terhadap *External Turrent Mooring System* Berbasis Simulasi *Time Domain*” , Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, Indonesia.
- Marineinsight (2013), Tanker operation on SPM, (Online), (<http://www.marineinsight.com/wp-content/uploads/2013/06/SPM.jpg> diakses 20 Juni 2016)

- OCIMF (1997) *Mooring Equipment Guidelines 2nd Edition*. Oil Companies International Marine Forum, Bermuda.
- O'Sullivan, Michael (2003) "West of Africa CALM Buoy Offloading Systems", *Offshore Magazine* (October 2003): 21-23
- Perwitasari, R.P. (2010) "*Hydrodynamic Interaction and Mooring Analysis For Offloading Between FPSO and LNG Shuttle Tanker*", Master Thesis, Department of Marine Technology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim.
- Prasiwi, Rizki Amalia (2014) "*Analisis Perilaku FPSO (Floating Production Storage and Offloading) Terhadap Internal Turren Mooring System Berbasis Simulasi Time Domain*", Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, Indonesia.
- PT. ITS KEMITRAAN (2009) *Pekerjaan Evaluasi Engineering dan Tenaga Ahli QA/QC Perbaikan SPM#6 (SO.1131) BP West Java Untuk Digunakan di Pangkalan Susu*. ITS, Surabaya.
- PT. Pertamina (Persero) (2009) *Design Basis Rev. "J" Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) System (150.000 DWT Capacity) TTU Tuban CALM Buoy Project, East Java, Indonesia*. Jakarta.
- PT. Pertamina (Persero) (2009) *Design Basis Rev. "J" Catenary Anchor Leg Mooring (CALM) System (35.000 DWT Capacity) TTU Tuban CALM Buoy Project, East Java, Indonesia*. Jakarta.
- PT. Pertamina (Persero) (2009) *Operating & Maintenance Manual TTU Tuban Terminal SOFEC Project 1880 Revision B*. Jakarta.
- PT. Pertamina (Persero) (2009) *Design Basis Single Point Mooring*. Jakarta.
- PT. Pertamina (Persero) (2015) *Single Point Mooring (SPM) IMODCO 100.000 DWT PT. PEP Region Sumatera*. Jakarta.
- Satria, Ardhan Cipta (2013) "Perencanaan *Offshore* Terminal Tipe CALM (*Catenary Anchor Leg Mooring*) Buoy Untuk Sandar Tanker Sampai Kapasitas 250.000 DWT", Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, Indonesia.

- Soedjono, J.J. (1998) *“Diktat Mata Kuliah Konstruksi Bangunan Laut II”*, Jurusan Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia.
- Song, et al (2014) “Dynamic Analysis of CALM Buoy-Based Steel Offloadig Line System”, *Proceedings of the 19th Offshore Symposium Texas Section of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*. Houston, Texas.
- Susanto, Danang (2009) “Analisa Operabilitas FPSO Dengan *Single Buoy Mooring* Berbasis Keandalan”, Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, Indonesia.
- Technip (2012) *PED Training Level 1 – Oil Production*. Malaysia.
- Van der Wal, R.J. (2004) “Downtime Analysis Techniques for Complex Offshore and Dredging Operations”. *Proceeding of OMAE04 23rd International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. Vancouver, British Columbia, Canada.
- Wibowo, Yuni Ari (2014) *“Analisis Pengaruh Variasi Jarak Horizontal Antara FSRU dan LNGC Saat Side by Side Offloading Terhadap Perilaku Gerak Kapal dan Gaya Tarik Coupling Line”*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan, ITS, Surabaya, Indonesia.
- Wichers, J.E.W. (1988), “Wave-Current Interaction Effects on Moored Tankers in High Seas”, *20th Offshore Technology Conference*, Houston, Texas.
- Wichers, Johan (2013) *“Guide to Single Point Mooring”*. Delft University Press, Netherland.
- Yilmaz, O., dan Incecik, A. (1994) “Hydrodynamic Design of Moored Floating Platforms”, *Marine Structures* Vol. 9 (1998) 545-575, Great Britain.

BIODATA PENULIS



Noni Nabila Ulfah dilahirkan di Surabaya pada 22 September 1994. Setelah menempuh pendidikan dasar di SDI Al-Azhar 9 Kemang Pratama Bekasi, penulis meneruskan pendidikannya di SMP Labschool Jakarta kemudian dilanjutkan ke jenjang pendidikan yang lebih tinggi di SMAN 8 Jakarta dimana penulis mengikuti kelas akselerasi. Setelah menempuh pendidikan di SMA selama 2 tahun, penulis mengikuti seleksi masuk perguruan tinggi negeri dan diterima di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember melalui jalur mandiri. Selama perkuliahan penulis sempat aktif menjadi *staff* di Kementerian Hubungan Luar BEM ITS 2013-2014 sekaligus menjadi Sekretaris Departemen Hubungan Luar HIMATEKLA FTK ITS 2013-2014. Selain itu, penulis sempat menjabat sebagai Kepala Departemen Hubungan Luar HIMATEKLA FTK ITS 2014-2015 dan Sekretaris Kementerian Hubungan Luar BEM ITS 2015-2016. Selain aktif di organisasi, penulis juga memberikan kontribusi dalam pelaksanaan *big event* Jurusan Teknik Kelautan dengan berperan sebagai Sekretaris OCEANO 2014. Penulis pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Technip Indonesia serta menjalani magang di Nasdec Indonesia. Bidang keahlian yang dipilih oleh penulis adalah hidrodinamika lepas pantai.